



Mariana da Corte Abreu

Licenciada em Engenharia Química

Avaliação do potencial de biomassa florestal da Ilha da Madeira para produção de combustíveis sólidos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Energia e Bioenergia

Orientador: Professor Doutor Fernando Reboredo, Professor
Auxiliar da FCT/UNL

Coorientador: Engenheiro Filipe Oliveira, Presidente do
Conselho de Administração da AREAM - Agência Regional da
Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira

Júri:

Presidente: Professora Doutora Benilde Simões Mendes
Arguente: Professor Doutor José Carlos Fernandes Teixeira
Vogal: Professor Doutor Fernando Henrique da Silva Reboredo



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho 2014

Avaliação do potencial de biomassa florestal da Ilha da Madeira para produção de combustíveis sólidos

Direitos de cópia © Mariana da Corte Abreu

Faculdade de Ciências e Tecnologia FCT

Universidade Nova de Lisboa UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*Ao Ambiente,
mais especificamente à Floresta,
por ser o pilar fundamental deste projeto e da Vida na Terra,
incentivando-me cada vez mais, a procurar novas soluções
para zelar pela sua segurança e proteção.
O Planeta Terra é o teu Lar, cuida dele, pelo bem de todos.*

Mariana da Corte (MADACORT)

AGRADECIMENTOS

Quando decidi vir viver para Portugal, tive dúvidas sobre o passo que iria dar, mas pensei que efetivamente, *quem não arrisca, não ganha*. Parte da decisão de embarcar nesta travessia foi tomada com o incentivo de Deus, que sempre esteve ao meu lado, guiando-me em silêncio, dos meus Pais, a minha maior fonte de inspiração, sem eles não teria alcançado nada, das minhas Irmãs, que confiaram sempre no caminho traçado para construir o meu destino, dos meus Sobrinhos, que me dão alegria mesmo à distância, e do meu Irmão Iván (cunhado). Também senti um grande apoio por parte dos meus primos e tios, dos meus “panas” (amigos de coração) da Venezuela, assim como, dos Professores da minha segunda casa, a Universidade Central de Venezuela, pela preparação profissional e incentivo nesta nova fase, ensinando-me sempre a seguir o coração.

Quando cheguei a Portugal, encontrei um reflexo do meu país na Ilha da Madeira, nas aulas de Salsa, meio que me propicio a descoberta de verdadeiras amizades, como a Mary, amiga incondicional que me tem apoiado, acreditando sempre em mim, dando-me o ânimo necessário no momento certo e que, sendo igualmente venezuelana, tem sido professora fiel de português, o Jorge, pela sua alegria, a Sra. Mary, que considero uma figura maternal pelas palavras de força, a Jenny, pela confiança, assim como Rodrigo, Sofia, Cristina, José, Ana, Erik e Dayana. Aos meus familiares residentes na Madeira, por incentivarem-me a lutar pelos objetivos, principalmente aos meus Padrinhos que são os meus segundos pais e às minhas primas Betty e Mary, que considero segundas Irmãs, ambas um grande apoio. Em Lisboa, também encontrei excelentes pessoas, como os Professores da Universidade Nova de Lisboa (minha terceira casa), nomeadamente a Coordenadora do Mestrado Prof.^a Doutora Benilde Mendes, fazendo-me sentir bem-vinda e confiante, sem esquecer a ajuda fornecida pelos meus colegas. Não posso esquecer a Cláudia, Sara e Ana, assim como a Sra. Fátima e o Sr. Afonso, por terem sido uma família durante a estadia em Lisboa, sempre atentos, permitindo-me viver gratos momentos.

Este projeto foi concretizado com a ajuda e colaboração de muitas pessoas: o Prof. Doutor Nuno Lapa, que me ajudou na procura de Tese, o Coorientador Eng.º Filipe Oliveira, que propôs este projeto e pelo seu elevado grau de conhecimentos, o Orientador Prof. Doutor Fernando Reboredo, pelo seu amor e dedicação à floresta, a Eng.^a Gorete Soares, a Sra. Cecília e o Lic. Rúben da AREAM, pela ajuda sempre fornecida, a Prof.^a Doutora Ana Luisa Fernando pelo esclarecimento de dúvidas, ao Dr. Filipe Aguiar pela ajuda e excelentes conselhos, a Prof.^a Doutora Paula Castilho da Universidade da Madeira, pela orientação nas análises laboratoriais, assim como os colegas de laboratório: Joanna, Tatiana, Vitor e Joana. Quanto à disponibilização de informação, realço a Dr.^a Noelia Abreu e a Sra. Alexandra Nunes da Câmara Municipal do Funchal, o Eng.º Cláudio Silva, a Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais, a Lic. Maria Ornelas da Direção Regional de Comércio, Indústria e Energia, o Diretor Miguel Encarnação da Desparga e a Lic. Micaela Gonçalves da Madeira Parques Empresariais. Pelo excelente atendimento, os representantes das empresas fornecedoras Ecomáquinas, Apisa, Vimar Systems, Quadrante, Scania e Cooperativa Agrícola do Funchal.

...a todos, um muito obrigada, porque de forma direta ou indireta, permitiram alcançar este sonho.

MADACORT

RESUMO

Este documento apresenta o desenvolvimento de um projeto para a produção de combustíveis sólidos (*pellets* e briquetes), para promover a valorização energética da biomassa florestal, reduzindo os riscos de incêndios e incentivando a economia local e o emprego.

Para estudo da matéria-prima, foram escolhidas as 10 espécies de maior crescimento ou que mais podem contribuir para a propagação de incêndios na Ilha da Madeira: Criadoméria, Choupo, Giesta, Canavieira, Eucalipto, Pinheiro bravo, Carqueja, Silvado, Feiteira e Acácia. Para garantir uma elevada qualidade dos produtos resultantes, realizou-se uma caracterização física (massa volúmica) e química (teor de humidade, teor de cinzas e poder calorífico) destas espécies, tendo-se selecionado a Criadoméria, Pinheiro bravo, Choupo, Acácia e Eucalipto.

Foram estudados três fluxos de produção 625 kg/h, 1.250 kg/h e 2.500 kg/h. O projeto foi concebido para ser instalado no Parque Empresarial da Ribeira Brava, operando com um turno laboral de 8 horas, 5 dias por semana e 264 dias anuais. A Feiteira, Giesta e Carqueja serão utilizadas como combustível no secador. As etapas do processo de produção são a pré-trituração, a secagem forçada, a moagem, a compactação (peletização e briquetagem), o arrefecimento e embalamento dos produtos. Os *pellets* apresentar-se-ão em sacos de 15 kg, de 1.000 kg (*big-bag*) e para distribuição a granel. Os briquetes estarão disponíveis em caixas de 20 kg. A normativa de qualidade a considerar é a do Comité Europeu de Normalização (CEN/TC 335), especificamente a EN 14961-1:2010.

O custo total de investimento para o fluxo de 625 kg/h é de 1.754.056 €; para o fluxo de 1.250 kg/h é de 2.326.649 € e para o fluxo de 2.500 kg/h é de 3.521.896 €. Contudo, só são economicamente viáveis os fluxos de produção de 1.250 kg/h (TIR de 8%) e de 2.500 kg/h (TIR de 18,2%).

Palavras-chave: Biomassa, Florestal, Combustíveis sólidos, Processo, *Pellets*, Briquetes.

ABSTRACT

This document presents the development of a project for the production of solid fuels (pellets and briquettes) to promote the valorization from forest biomass, thus reducing the risk of fires and stimulating the local economy and the employment.

To study the raw material, were chosen 10 species of higher growth or that may contribute to the spread of fires in the Madeira Island: *Cryptomeria japonica*, *Populus tremula*, *Cytisus scoparius*, *Arundo donax*, *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster*, *Ulex europaeus*, *Rubus grandifolius*, *Pteridium aquinilum* and *Acacia mearnsii*. To ensure high quality of the resulting products, we carried out a physical characterization (density) and chemical (moisture content, ash content and calorific value) of these species, having selected *Cryptomeria japonica*, *Pinus pinaster*, *Populus tremula*, *Acacia mearnsii* and *Eucalyptus globulus*.

Three production levels were studied: 625 kg/h 1.250 kg/h and 2.500 kg/h. The project will be installed in the Managerial Park of Ribeira Brava, operating with a working shift of 8 hours, 5 days per week and 264 days per year. The *Pteridium aquinilum*, *Cytisus scoparius* and *Ulex europaeus* will be used as fuel in the dryer. The steps of the production process are pre-trituration, forced drying, milling, compacting (pelletization and briquetting), cooling and packaging. The pellets will be presented in bags of 15 kg, 1.000 kg (big-bag) and bulk distribution. The briquettes will be available in 20 kg boxes. The normative of quality to consider is of the European Committee for Standardization (CEN/TC 335), specifically the EN 14961-1:2010.

The total cost of the investment for the flow of 625 kg/h is 1.754.056 €, for the flow of 1.250 kg/h is 2.326.649 € and the flow of 2.500 kg/h of 3.521.896 €. However, are only economically viable the production flow of 1.250 kg/h (IRR of 8%) and the flow of 2.500 kg/h (IRR 18,2%).

Keywords: Biomass, Forestry, Solid Fuels, Process, Pellets, Briquettes.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Energias renováveis	1
1.2	Fontes da biomassa	1
1.3	Aspetos positivos e negativos da utilização da biomassa	2
1.4	Objetivos.....	3
2	BASES DA INVESTIGAÇÃO.....	5
2.1	Caraterização da área de estudo	5
2.1.1	Incêndios florestais.....	5
2.1.2	Valorização energética	6
2.1.3	Localização, geografia e ocupação do solo	7
2.1.4	População e atividade económica.....	8
2.1.5	Clima.....	10
2.1.6	Recursos florestais	13
2.2	Processos de conversão da biomassa.....	21
2.2.1	Trituração ou estilhaçamento	21
2.2.2	Secagem.....	22
2.2.3	Compactação ou densificação	22
2.2.4	Combustão da biomassa.....	27
2.3	Políticas a nível comunitário, nacional e regional	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1	Caraterização físico-química das amostras	29
3.1.1	Determinação da massa volúmica	32
3.1.2	Determinação do teor de humidade	33
3.1.3	Determinação do teor de cinzas.....	33
3.1.4	Determinação do poder calorífico.....	33
3.2	Caraterização do processo.....	34
3.2.1	Localização da instalação	34
3.2.2	Condições do local	35
3.2.3	Capacidade da instalação	35
3.2.4	Características e condições da matéria-prima	35
3.2.5	Especificações do produto final.....	35
3.2.6	Condições de armazenamento.....	36
3.2.7	Normas de qualidade	36
3.2.8	Seleção das tecnologias.....	36
3.2.9	Descrição do processo	36
3.2.10	Diagramas de processo.....	36
3.2.11	Estudo económico	37

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1	Caraterização físico-química das amostras	39
4.1.1	Massa volúmica.....	40
4.1.2	Teor de humidade.....	42
4.1.3	Teor de cinzas	43
4.1.4	Poder calorífico.....	46
4.2	Caraterização do processo.....	48
4.2.1	Localização da instalação	48
4.2.2	Condições do local	50
4.2.3	Capacidade da instalação	52
4.2.4	Características e condições da matéria-prima	52
4.2.5	Especificações do produto final.....	54
4.2.6	Condições de armazenamento.....	55
4.2.6.1	Armazenamento da matéria-prima.....	55
4.2.6.2	Armazenamento dos produtos	56
4.2.7	Norma de qualidade	57
4.2.8	Seleção das tecnologias.....	63
4.2.8.1	Matriz de seleção do triturador	63
4.2.8.2	Matriz de seleção do processo de <i>pellets</i>	64
4.2.8.3	Matriz de seleção da etapa de briquetagem	66
4.2.9	Descrição do processo	67
4.2.10	Diagramas de processo.....	72
4.2.11	Estudo económico	74
5	CONCLUSÕES	79
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
	BIBLIOGRAFIA.....	83
	APÊNDICES.....	93
	A1 Metodologia de cálculo do Método de Decisão Múltiplo Binário	93
	A2 Custos e receitas do projeto por cada fluxo de produção	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Severidade Sazonal do risco de incêndio na Madeira	6
Figura 2.2. Ocupação do solo na Ilha da Madeira	8
Figura 2.3. Concelhos da Ilha da Madeira	9
Figura 2.4. Temperatura média do ar por mês, na Ilha da Madeira, (base na cidade do Funchal).....	11
Figura 2.5. Temperatura média anual do ar na Ilha da Madeira	11
Figura 2.6. Média da precipitação total por mês, na Ilha da Madeira, (base na cidade do Funchal) ...	12
Figura 2.7. Precipitação média anual na Ilha da Madeira	12
Figura 2.8. Floresta natural e introduzida na Madeira	14
Figura 2.9. Zonas florestais a uma distância até 250 m da rede viária	14
Figura 2.10. Representação física das espécies	17
Figura 2.11. Representação física das tecnologias de densificação	23
Figura 2.12. Representação física dos produtos de interesse	24
Figura 3.1. Representação física das partes moídas ou trituradas por espécies	30
Figura 3.2. Régua Vernier	32
Figura 3.3. Exemplo de um DBP	37
Figura 4.1. Troços dos ramos, caules, casca, frutos e pinhas utilizados	40
Figura 4.2. Massa volúmica para cada amostra	41
Figura 4.3. Teor de humidade obtido para cada amostra	43
Figura 4.4. Cinzas obtidas para as diferentes amostras	44
Figura 4.5. Teor de cinzas para cada amostra.....	44
Figura 4.6. Parques Empresariais da Ilha da Madeira	48
Figura 4.7. Imagens do Parque Empresarial da Ribeira Brava.....	50
Figura 4.8. Planta de ordenamento do território no concelho de Ribeira Brava	51
Figura 4.9. Recolha, transformação e armazenamento da biomassa	55
Figura 4.10. Armazenamento da estilha	56
Figura 4.11. Esquema da distribuição dos <i>pellets</i>	56
Figura 4.12. Imagens dos componentes do processo	71
Figura 4.13. Diagrama de bloco de processo	72
Figura 4.14. Diagrama de fluxo de processo	73
Figura A2.1. Representação física do medidor de humidade e motosserra.....	95
Figura A2.2. Maquinaria para transporte, carga e descarga.....	96
Figura A2.3. Planta do Parque Empresarial da Ribeira Brava.....	97

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Aspetos positivos e negativos da utilização da biomassa	2
Tabela 2.1. Superfície e população dos concelhos da Ilha da Madeira no ano 2012	9
Tabela 2.2. Classificação climática de Köppen na Ilha da Madeira.....	10
Tabela 2.3. Descrição das espécies a utilizar (continua)	15
Tabela 2.3. Descrição das espécies a utilizar (conclusão)	16
Tabela 2.4. Área, densidade média e volume das espécies de árvores, para a floresta cultivada	18
Tabela 2.5. Área de cada tipo de floresta de acordo com a espécie	19
Tabela 2.6. Área de cada tipo de floresta, por grupo de concelhos para cada espécie	20
Tabela 2.7. Quantidade de resíduos de biomassa	20
Tabela 2.8. Definição, usos, vantagens e desvantagens da estilha	21
Tabela 2.9. Descrição dos diferentes tipos de secadores	22
Tabela 2.10. Tecnologias de densificação	23
Tabela 2.11. Caracterização físico-química da estilha, <i>pellets</i> e briquetes	24
Tabela 2.12. Definição, usos, vantagens e desvantagens dos <i>pellets</i> e briquetes (continua)	25
Tabela 2.12. Definição, usos, vantagens e desvantagens dos <i>pellets</i> e briquetes (conclusão).....	26
Tabela 3.1. Caracterização dos parâmetros físico-químicos da biomassa	31
Tabela 4.1. Massa volúmica, teor de humidade e de cinzas de diferentes espécies	39
Tabela 4.2. Massa volúmica, teor de humidade e de cinzas de folhas de diferentes espécies	39
Tabela 4.3. Massa volúmica e respetivo teor de humidade das espécies em estudo.....	42
Tabela 4.4. Teor de cinzas das espécies em estudo.....	45
Tabela 4.5. Poder calorífico das espécies	46
Tabela 4.6. Propriedades de alguns resíduos e outros materiais.....	47
Tabela 4.7. Características dos Parques Empresariais de interesse	49
Tabela 4.8. Matriz de seleção da localização	49
Tabela 4.9. Fluxos de produção	52
Tabela 4.10. Utilização de alguns materiais e resíduos.....	52
Tabela 4.11. Matriz de seleção de materiais.....	53
Tabela 4.12. Fração mássica da matéria-prima.....	54
Tabela 4.13. Propriedades do produto final	55
Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, <i>pellets</i> e briquetes (continua)	58
Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, <i>pellets</i> e briquetes (continuação)	59
Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, <i>pellets</i> e briquetes (continuação)	60
Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, <i>pellets</i> e briquetes (continuação)	61
Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, <i>pellets</i> e briquetes (conclusão) ..	62
Tabela 4.15. Dados dos trituradores	63
Tabela 4.16. Matriz de seleção para o triturador.....	64
Tabela 4.17. Dados do processo de <i>pellets</i>	65
Tabela 4.18. Matriz de seleção para o processo de <i>pellets</i>	65
Tabela 4.19. Dados para a etapa de briquetagem.....	66

Tabela 4.20. Matriz de seleção para a etapa de briquetagem	67
Tabela 4.21. Caraterísticas dos trituradores e estilhaçadores	67
Tabela 4.22. Caraterísticas do secador	68
Tabela 4.23. Caraterísticas do moinho de martelo	69
Tabela 4.24. Caraterísticas do peletizador.....	69
Tabela 4.25. Caraterísticas do arrefecedor.....	70
Tabela 4.26. Caraterísticas dos briquetadores	70
Tabela 4.27. Fluxo de caixa para produção de 625 kg/h	75
Tabela 4.28. Fluxo de caixa para produção de 1.250 kg/h	76
Tabela 4.29. Fluxo de caixa para produção de 2.500 kg/h.....	77
Tabela A1.1. Matriz de peso por parâmetro.....	93
Tabela A1.2. Matriz de peso total por alternativa.....	94
Tabela A2.1. Custo dos componentes de transporte.....	95
Tabela A2.2. Área da instalação com base no fluxo de produção.....	96
Tabela A2.3. Custo de outros componentes não especificados	98
Tabela A2.4. Percentagem estimada para custo do projeto	98
Tabela A2.5. Licenciamento de construção pela Câmara Municipal da Ribeira Brava	99
Tabela A2.6. Licenciamento industrial pela Câmara Municipal da Ribeira Brava	99
Tabela A2.7. Dados de viagem, manutenção e alojamento	100
Tabela A2.8. Salário bruto estipulado por trabalhador (para os fluxos de 625 kg/h e 1.250 kg/h)	101
Tabela A2.9. Dados pacote Meo Fibra 100 (só telefone fixo e net).....	101
Tabela A2.10. Valores a considerar para o serviço de água	102
Tabela A2.11. Tarifas de venda em Baixa Tensão Normal (BTN) (>20,7 kVA)	102
Tabela A2.12. Tarifas de venda em Baixa Tensão Especial (BTE) (>41,40 kVA).....	103
Tabela A2.13. Preços por metro quadrado para regime de direito de superfície	103
Tabela A2.14. Dados de produção por apresentação	105
Tabela A2.15. Preços estipulados para vendas de <i>pellets</i> e briquetes	105
Tabela A2.16. Venda por apresentação e fluxo de produção.....	106
Tabela A2.17. Fluxo de matéria-prima por cada espécie	106

LISTA DE ABREVIATURAS

Adim. - Adimensional

cm³ - Centímetro cúbico

Eq. - Equação

g - Grama

GJ - Gigajoule

h - Hora

ha - Hectare

kg - Quilograma

km² - Quilómetro quadrado

m³ - Metro cúbico

min - Minuto

MJ - Megajoule

mm - Milímetro

s - Segundo

t/dia - Tonelada/dia

LISTA DE SIGLAS

AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira

ARM - Águas e Resíduos da Madeira

BTE - Baixa Tensão Especial

BTN - Baixa Tensão Normal

CE - Comunidade Europeia

DBP - Diagrama de Blocos do Processo

DFP - Diagrama de Fluxo de Processo

DRCIE - Direção Regional do Comércio, Indústria e Energia

DRF - Direção Regional de Florestas

DSR - Índice de Severidade Diário

ENE 2020 - Estratégia Nacional para a Energia 2020

ETF - Estação de Transferência do Funchal

FOAA - Floresta e Outras Áreas Arborizadas

GEE - Gases com Efeito de Estufa

IFRAM1 - 1.º Inventário Florestal da Região Autónoma da Madeira

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ITM - Indústria Transformadora da Madeira

IVA - Imposto sobre o valor acrescentado

MDMB - Método de Decisão Múltiplo Binário

MPE - Madeira Parques Empresariais

NMP - Nemátodo da Madeira do Pinheiro

PCI - Poder Calorífico Inferior

PCS - Poder Calorífico Superior

PLC - Controlador Lógico Programável

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PORDATA - Base de dados de Portugal

PRPA - Plano Regional da Política de Ambiente

RAM - Região Autónoma da Madeira

SRA - Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais

SSR - Índice de Severidade Sazonal

TIR - Taxa Interna de Rendibilidade

ZPE - Zona de Proteção Especial

LISTA DE SÍMBOLOS

Al - Alumínio

C₂H₄ - Eteno ou etileno

C₂H₆ - Etano

Ca - Cálcio

CaCO₃ - Carbonato de cálcio

CH₄ - Metano

Cl - Cloro

CO - Monóxido de carbono

CO₂ - Dióxido de carbono

C_xH_y - Hidratos de carbono

H₂ - Hidrogénio

H₂S - Sulfureto de hidrogénio

HCl - Ácido clorídrico

HCN - Cianeto de hidrogénio

K - Potássio

Mg - Magnésio

N₂O - Óxido nitroso

Na - Sódio

NH₃ - Amoníaco

NO_x - Óxidos de azoto

O₃ - Ozono

P - Fósforo

S - Enxofre

Si - Silício

SO₂ - Dióxido de enxofre

°C - Grau Celsius

p - Massa volúmica

1 INTRODUÇÃO

1.1 Energias renováveis

As formas de energia renovável mais conhecidas são a solar (térmica, termoelétrica e fotovoltaica), a eólica, a hídrica, a geotérmica, a biomassa e a dos oceanos (ondas, marés, correntes). A biomassa é considerada como um reservatório de energia solar, apesar de ser produzida em meio terrestre e aquático, a qual é utilizada desde a pré-história. A biomassa representa a maior fonte de energia renovável conhecida atualmente, por ser muito abundante no nosso planeta [1] e é considerada a quarta maior fonte de energia primária do mundo, depois do petróleo, carvão e gás natural, com uma participação entre 10% a 14% [2]. A utilização de combustíveis da biomassa pode reduzir significativamente as emissões líquidas de carbono, principalmente quando se compara com os combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo. Por outro lado, a biomassa pode assegurar uma redução significativa da dependência energética em relação a outros países, pela disponibilidade que apresenta em várias regiões e nações do mundo.

As formas de energia mencionadas são conhecidas por renováveis, porque são inesgotáveis e podem renovar-se no caso de ser assegurada uma exploração sustentável. São complementares, porque podem coexistir com outras formas de energia, designadamente com formas de energia de origem fóssil. São limpas, porque, em geral, não emitem poluentes que prejudiquem o ambiente ou apresentam uma menor emissão em comparação com as fontes de energia fósseis, principalmente quando se trata dos Gases com Efeito de Estufa (GEE), entre estes o dióxido de carbono (CO_2). São alternativas, porque podem substituir algumas formas de energia convencionais, como os derivados de petróleo, para determinadas utilizações. Contudo, é importante ter em consideração que as energias renováveis, nas condições atuais, por razões de disponibilidade dos recursos, tecnológicas e de viabilidade económica, não substituem toda a energia das fontes não renováveis [3].

1.2 Fontes da biomassa

A biomassa está representada por toda a matéria orgânica biodegradável, nomeadamente os materiais hidrocarbonados não fósseis [4], compostos por uma mistura de complexos heterogêneos de componentes estruturais orgânicos, como a celulose, a hemicelulose e a lenhina [5]. A matéria orgânica que é considerada biomassa para fins energéticos são os resíduos agrícolas, incluindo os de origem vegetal e animal, os resíduos de outras indústrias afins, como a pesca e a aquicultura [6], os resíduos de madeira provenientes da exploração florestal e das indústrias florestais aos quais é aplicada uma primeira e segunda transformação, os produtos provenientes das culturas energéticas, tanto de espécies agrícolas como florestais [7] e a matéria biodegradável dos resíduos sólidos urbanos. Para a produção de energia, são mais apropriados os materiais de natureza lenhosa do que as culturas alimentares, porque as primeiras contêm maior teor energético, não competem com a alimentação e necessitam de menor quantidade de fertilizantes e pesticidas [8].

Os biocombustíveis representam um tipo de combustível de origem biológica, não fossilizados, que podem ser líquidos (bioetanol, biodiesel, por exemplo) ou gasosos (biogás, de origem diversa) e que podem ser utilizados como combustível para transportes [6]. É importante realçar a definição de

biocombustível, porque há muitos autores que estabelecem o termo biocombustível também para os sólidos, porém, tendo por base a Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009, os biocombustíveis são líquidos ou gasosos e utilizados nos transportes. Com base nisto, são considerados combustíveis sólidos a lenha, a estilha, a palha de cereais, os densificados, como os *pellets* e briquetes, e o carvão vegetal, entre outros biosólidos [4].

O tipo de biomassa com maior relevância para a valorização energética é a biomassa residual florestal, a qual representa o material que não é aproveitado dentro da exploração florestal [9]. Por sua vez, esta pode ser classificada de duas formas, como biomassa florestal primária, que representa os produtos obtidos da floresta, e a biomassa florestal secundária, que são os resíduos (fração biodegradável) obtidos na indústria transformadora de madeira, os de outras atividades industriais (carpintarias e serrações) e os resíduos sólidos urbanos [10].

A biomassa pode ser utilizada de várias formas, destacando-se: a produção de calor, através da combustão, podendo este calor ser utilizado para arrefecimento com *chillers* de absorção; a produção de energia elétrica, através de motores térmicos ou turbinas e geradores, que convertem a energia química em energia térmica, em energia mecânica e, finalmente, em energia elétrica [11]; e a utilização de biocombustíveis (líquidos ou gasosos) para transportes.

1.3 Aspectos positivos e negativos da utilização da biomassa

A utilização da biomassa para fins energéticos tem aspectos positivos e negativos, que são resumidos na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Aspectos positivos e negativos da utilização da biomassa

Aspectos positivos	Aspectos negativos
Não contribui para o aquecimento global, permitindo a redução das emissões de CO ₂ .	Os resíduos florestais têm alto teor de humidade, baixa densidade de energia e volume irregular em alguns casos, aumentando os custos para a secagem, recolha, transporte e armazenamento [7; 12].
Os combustíveis produzidos não originam chuvas ácidas, pelos baixos níveis de enxofre [7].	O poder calorífico da biomassa depende muito do teor de humidade, densidade do material e do clima da zona de crescimento da espécie [7].
As cinzas apresentam uma baixa produção na combustão, em comparação com o carvão e podem ser utilizadas como matéria orgânica para os solos agrícolas [7].	Inexistência de uma cadeia de abastecimento de biomassa que garanta o fornecimento sem interrupções durante todo o ano.
Pode ser armazenada em segurança, sem risco de fugas ou explosão.	Custos elevados nas operações de recolha, transporte e pré-tratamento da biomassa [13].
A utilização dos resíduos florestais contribui para a limpeza da floresta, que permite a criação de emprego e rendimento para os agricultores e para os proprietários de terrenos florestais, diminuindo a carga de combustível que gera incêndios, melhorando a qualidade do solo.	Viabilidade para o fornecimento do material, nem sempre é garantida.
Contribui para reduzir a dependência energética dos combustíveis fósseis, no cumprimento dos compromissos internacionais de combate às alterações climáticas.	Alguns tipos de biomassa, apresentam teores elevados de cinzas, fator que é importante considerar, principalmente em sistemas de aquecimento.

1.4 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar o potencial da biomassa florestal da Ilha da Madeira e a produção de combustíveis sólidos com os seguintes objetivos específicos:

- (a) Realizar uma pesquisa dos conceitos teóricos, da caracterização da Ilha da Madeira, das propriedades da biomassa, dos parâmetros característicos dos produtos, das normas a aplicar, dos processos de transformação e dos componentes e equipamentos necessários no processo.
- (b) Identificar as espécies de maior abundância na Ilha da Madeira e avaliar os materiais de biomassa florestal disponíveis da manutenção de floresta e de áreas com risco de incêndio.
- (c) Efetuar a caracterização das principais espécies vegetais, incluindo os aspetos físicos e químicos que podem condicionar a transformação e valorização energética.
- (d) Selecionar a localização da instalação de transformação da biomassa em combustíveis sólidos.
- (e) Analisar as tecnologias para a transformação de biomassa em combustíveis sólidos.
- (f) Investigar e estruturar a unidade de transformação, com base nas soluções tecnológicas disponíveis adequadas às necessidades e ao contexto local.
- (g) Efetuar a análise da viabilidade económica do processo de transformação.

2 BASES DA INVESTIGAÇÃO

2.1 Caraterização da área de estudo

O Governo Regional da Madeira e a Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM) estão empenhados em iniciativas que promovam a valorização energética da biomassa, dado que, para além de reduzir os riscos de incêndios e a dependência do petróleo, contribui para diminuir a propagação do Nemátodo da Madeira do Pinheiro (NMP), pode criar postos de trabalho e desenvolver a economia local. A AREAM tem apoiado o Governo Regional na implementação de políticas no domínio da energia e do ambiente, visando a eficiência energética, o aproveitamento das energias renováveis e a proteção do ambiente, assim como a inovação e a cooperação com outras regiões insulares e ultraperiféricas [14].

A AREAM promoveu dois estudos na área da biomassa. O primeiro, publicado em julho de 2005, intitulado *“Avaliação do potencial energético da biomassa na Região Autónoma da Madeira”* e elaborado pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), Departamento de Energias Renováveis, que determinou o potencial energético dos resíduos florestais, agrícolas e das indústrias transformadoras de madeira, e analisou a recolha seletiva de óleos alimentares para a produção de biodiesel [15]. O segundo estudo, divulgado em outubro de 2006, *“Levantamento do potencial energético da biomassa florestal na Região Autónoma da Madeira”* e que teve a colaboração da Direção Regional de Florestas (DRF), diz respeito à quantificação da biomassa florestal na Região Autónoma da Madeira (RAM) para determinar as potencialidades existentes na Região, relativo ao aproveitamento dos resíduos florestais e silvícolas para a produção de energia, especificamente cogeração e combustíveis sólidos para o setor doméstico [16].

Outro estudo, promovido pela SRA - Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais, é o *“1.º Inventário Florestal da Região Autónoma da Madeira (IFRAM1)”*, divulgado em dezembro de 2008, com a edição da DRF e a elaboração de Metacortex - Consultoria e Modelação de Recursos Naturais, S.A., que faz uma abordagem qualitativa e quantitativa do espaço florestal e natural da região, com o objetivo de promover a implementação de projetos de conservação dos ecossistemas florestais na Ilha [17].

2.1.1 Incêndios florestais

Na Madeira, a altura do ano mais propensa para ocorrência de incêndios é no verão, provocando a destruição de terrenos, que podem levar anos a recuperar, acentuando a erosão dos solos com um desequilíbrio ecológico e aumentando o risco de cheias [18]. O risco extremo de ocorrência de incêndios florestais é no litoral sul, a altitudes entre os 600 até 700 m [19], principalmente nas serras da Madeira onde se encontram espécies maioritariamente introduzidas [18], considerando só um risco elevado quando se trata de zonas agrícolas deixadas ao abandono, o que implica num aumento da carga de combustível, fator que pode propagar incêndios a áreas urbanas, sendo também áreas de risco as zonas de elevado declive, que apresentam um aumento da biomassa lenhosa, devido à dificuldade de acesso para efetuar uma redução ou eliminação das espécies [19].

A Figura 2.1 apresenta a cartografia do risco de incêndio florestal com o Índice de Severidade Diária (DSR), o qual define os riscos de incêndio por classes que devem ser proporcionais ao esforço que é requerido para a extinção do fogo, sendo calculado para 153 dias (época de incêndios), nos meses de maio a setembro. Nesta figura também detalha-se o Índice de Severidade Sazonal (SSR) que é o índice médio do DSR mas calculados para as épocas de relevância, sendo especificados 3 períodos de 30 anos (o primeiro desde 1960 até 1999, o segundo A2 desde 2040 até 2069 e o terceiro B2 desde 2070 até 2099) [19].

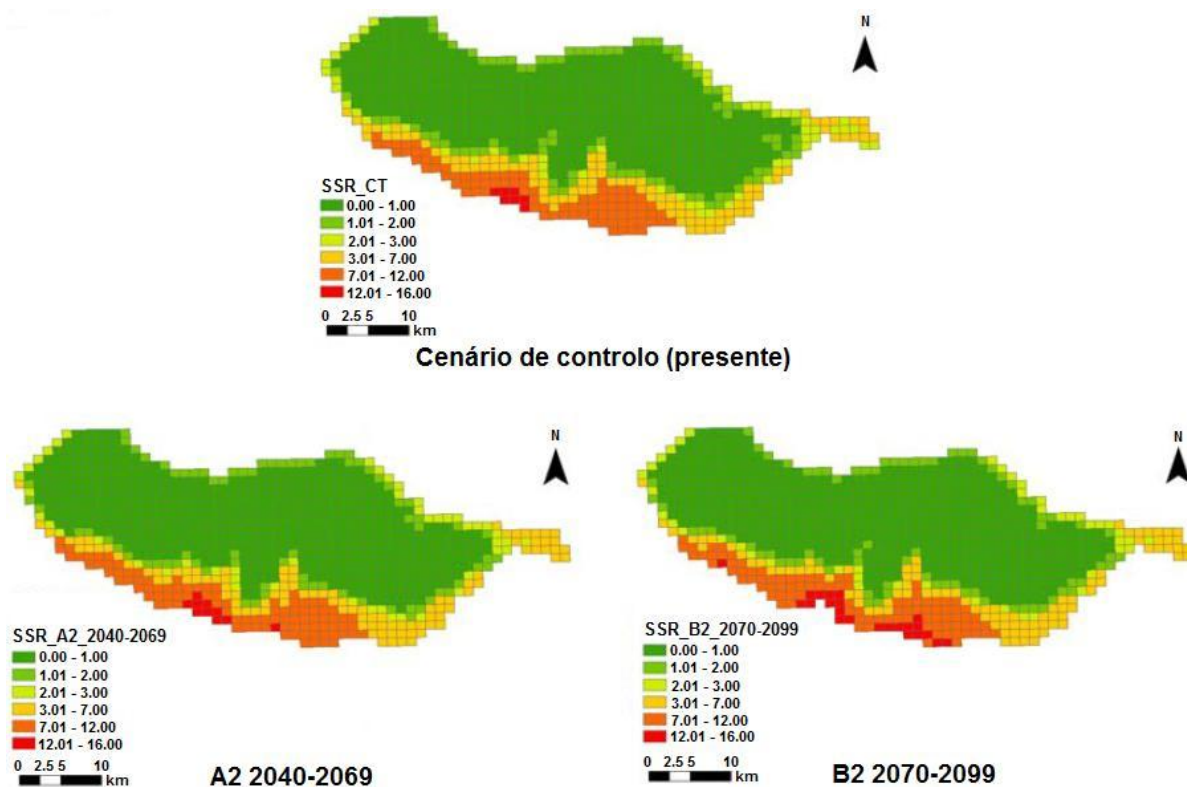


Figura 2.1. Severidade Sazonal do risco de incêndio na Madeira [Adaptado de 19]

2.1.2 Valorização energética

Na Ilha da Madeira, pela elevada dependência energética do exterior e pelos riscos de incêndios florestais, torna-se de grande relevância avaliar a viabilidade da valorização energética da biomassa, através da produção de combustíveis sólidos, como a estilha, os *pellets* e os briquetes, a partir de materiais resultantes da manutenção da floresta. Neste sentido, deve ser realizada uma avaliação das espécies vegetais com maior abundância na Ilha da Madeira, como a Giesta, Canaveira, Feiteira, Criptoméria, Carqueja, Silvado, Acácia, Eucalipto, Pinheiro bravo e Choupo, muitas das quais apresentam elevado potencial para a propagação de incêndios, que afetam a segurança de pessoas e bens. A limpeza dos matos de terrenos privados e públicos torna-se necessária para reduzir a carga de combustível, bem como as medidas para controlar o Nemátodo da Madeira do Pinheiro (NMP) conhecido como a doença dos Pinheiros bravos, permitindo assim a produção de produtos de interesse, com valor comercial. De acordo com Sá (2009) *“a limpeza das florestas será finalmente uma área de negócio capaz de incentivar a actividade florestal”* [20].

Na RAM, a utilização da biomassa para fins energéticos representava 2% da energia primária em 2009, sendo possível um aumento do seu aproveitamento, através da produção de combustíveis derivados da biomassa que dinamizem a procura do mercado e do aumento na produção florestal. Atualmente, existem mais de 14.000 explorações, com uma área de terreno média de 0,39 ha [15], sendo a elevada dispersão da propriedade e a orografia os principais obstáculos para a recolha e transporte do material. A valorização energética da biomassa florestal pode favorecer a recolha dos materiais e a limpeza da floresta, ajudando a prevenir os incêndios, para além de reduzir as importações e fomentar o emprego local.

Para desenvolver uma estratégia de valorização, há que considerar três aspetos: a recolha, a produção e o mercado. É de realçar que o fator relativo à produção é o que será apresentado com maior detalhe neste trabalho, por ser o de maior interesse em termos de investigação e por ser um aspeto crítico na criação de um mercado da biomassa numa região insular como a Madeira, em que é necessário assegurar a produção local dos combustíveis. Todo este estudo será realizado de forma a ter em conta a viabilidade económica do processo e o retorno dos investimentos.

2.1.3 Localização, geografia e ocupação do solo

A Ilha da Madeira é a maior Ilha do Arquipélago da Madeira, sendo a Madeira e Porto Santo as únicas habitadas. De seguida, são apresentados os aspetos mais relevantes da localização, geografia e ocupação do solo:

- (a) Localização:** encontra-se no Atlântico Oriental, nos 32° de latitude norte e 17° de longitude oeste, a 900 km do território continental português [16], com superfície de 759 km² [21], e com 58 km de comprimento este-oeste e 23 km de largura norte-sul, no máximo [14].
- (b) Geografia:** relevo montanhoso e acidentado, com grandes elevações e depressões [14], pontos de muita sombra e outros com elevada exposição solar, montanhas separadas uma das outras por barrancos profundos [19], sendo o pico mais alto, o Pico Ruivo, com 1.862 m [14] e o segundo mais alto, o Pico do Arieiro, com 1.818 m de altitude [19].
- (c) Ocupação do solo:** 65% da Ilha da Madeira é ocupada pelo Parque Natural da Madeira [14], que abarca o Pico Ruivo e Pico do Arieiro (maciço montanhoso oriental) e o Planalto Paul da Serra (maciço montanhoso ocidental) [19], incluindo, também, na sua maior parte, a floresta Laurissilva (Património Mundial da Humanidade, pela Unesco, em 1999). O restante 35% é ocupado por 75% da população residente, dos quais 94% vive no sul pelas vantagens climáticas, e onde está localizada a maior parte das unidades hoteleiras [14].

Na Figura 2.2 é assinalada a distribuição da ocupação dos solos na Ilha da Madeira.

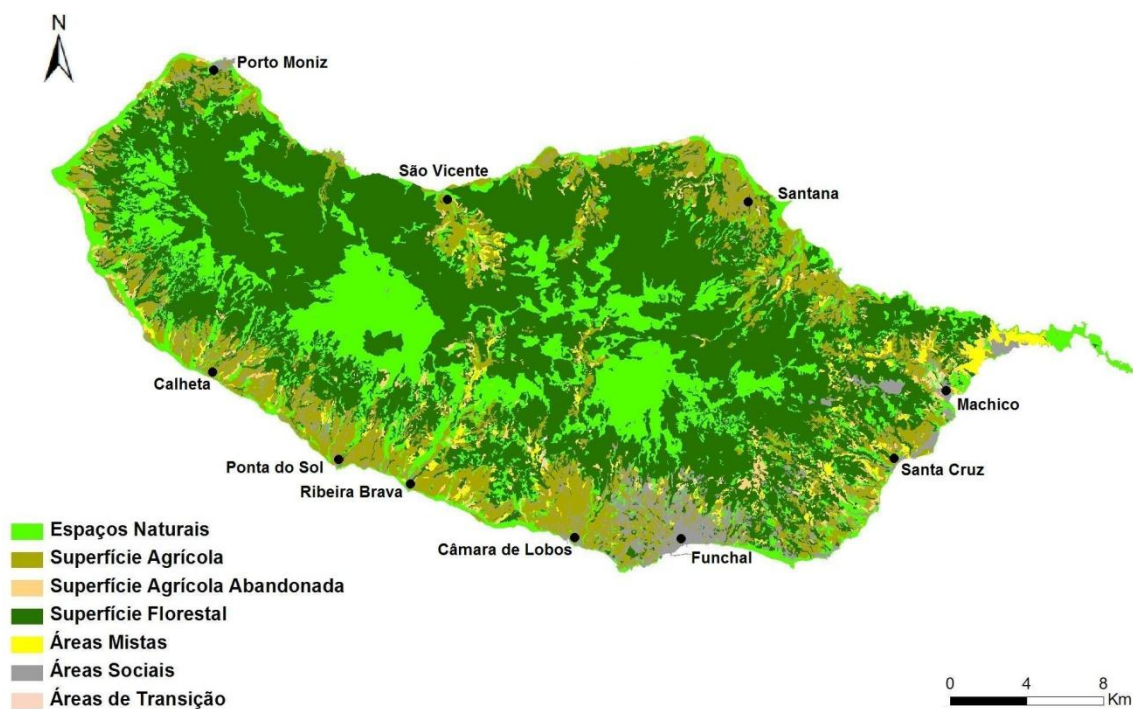


Figura 2.2. Ocupação do solo na Ilha da Madeira [Adaptado de 16]

2.1.4 População e atividade económica

A RAM tem 11 concelhos e 54 freguesias, das quais, só um concelho e uma freguesia pertencem à Ilha do Porto Santo, estando as restantes na Ilha da Madeira [15]. A Madeira, de acordo com a Base de Dados de Portugal (PORDATA) de 2012, apresenta uma densidade populacional elevada, com uma média de 340,5 habitantes/km² e uma população total residente de cerca de 258.298 habitantes [21]. A população flutuante ou não residente, relacionada com o setor turístico da ilha é, em média, de aproximadamente 20.000 turistas [14].

Entre outros fatores relevantes, destacam-se os seguintes:

- (a) **Ocupação territorial:** elevada dispersão, com povoamento muito concentrado no sul, com incidência superior na capital, a cidade do Funchal, pela concentração de serviços, com a maior zona urbana da ilha, fator influenciado por aspetos geográficos e administrativos [15].
- (b) **Atividade económica:** a maior parte das empresas encontram-se inseridas no litoral sul, com incidência superior desde o concelho de Câmara de Lobos até Machico, estando 85% do setor turístico nos concelhos de Funchal e Santa Cruz. A atividade económica inclui a atividade florestal, agrícola e industrial, que estão relacionadas com a biomassa, no contexto de aproveitamento energético [15].

A Figura 2.3 apresenta a localização geográfica de cada um dos concelhos que integram a ilha.



Figura 2.3. Concelhos da Ilha da Madeira

(Elaboração própria, com dados do Atlas do Ambiente da Madeira) [22]

Na Tabela 2.1 são apresentados o valor da superfície em km², população residente e a densidade populacional em habitantes por km² da Ilha da Madeira, com base em dados da PORDATA.

Tabela 2.1. Superfície e população dos concelhos da Ilha da Madeira no ano 2012 [21]

Territórios	Superfície (km ²)	População residente (Indivíduo)	Nº médio de indivíduos por Km ² (Indivíduo - Média)
Calheta	112	11.388	102,1
Câmara de Lobos	52	35.109	673,3
Funchal	76	109.570	1.439
Machico	68	21.395	313,1
Ponta do Sol	46	8.803	190,6
Porto Moniz	83	2.613	31,5
Ribeira Brava	65	13.088	200,1
Santa Cruz	82	43.308	531,4
Santana	96	7.474	78,2
São Vicente	79	5.554	70,5
Ilha da Madeira	759	258.298	340,5

2.1.5 Clima

O clima na Madeira é de tipo subtropical e agradável tanto no inverno como no verão, à exceção dos pontos mais altos da ilha, nos quais se atinge temperaturas mais baixas. De acordo com Mendes & Oliveira (2006) *“a condensação dá-se a altitudes relativamente baixas, a partir dos 400 m ou mesmo abaixo deste valor, com chuvas fracas, formando-se então o característico “capacete” de nuvens”* [16]. Os anticiclones do Arquipélago dos Açores alteram os ventos na Madeira, principalmente no norte e nordeste, gerando-se, em alguns casos, chuvas abundantes em vários pontos da ilha, sendo superior no litoral norte, nos pontos mais altos [16]. A altitude afeta as temperaturas na Madeira, sendo menores nos pontos mais altos e mais altas nos pontos mais baixos, especificamente nas zonas costeiras e na margem sul.

O Atlas Climático dos Arquipélagos de Canárias, Madeira e Açores, com medições desde 1971 até 2000, estabelece a classificação climática de Köppen com valores médios mensais de precipitação e temperatura, considerando a influência da vegetação e das atividades humanas [23].

Na Tabela 2.2 é apresentada a classificação relativa à Madeira.

Tabela 2.2. Classificação climática de Köppen na Ilha da Madeira [23]

Tipo de classificação	Descrição / ocorrência
Climas Secos - Tipo B	Nível 1 refere-se à precipitação mantida ao longo do ano com equação $P = 20 (T + 7)$; Nível 2 com precipitação igual a 70% ou superior, no semestre de outono-inverno, com equação $P = 20T$; Estas equações relacionam a precipitação total com a temperatura média, anualmente.
Csa (temperado com verão seco e quente)	Zonas costeiras da Madeira.
Csb (temperado com verão seco e temperado)	Pontos da ilha com maior altitude.
Csc (temperado com verão seco e fresco)	Unicamente no Pico Ruivo e Pico do Arieiro.

A temperatura e a precipitação são os dois fatores climáticos com maior relevância no âmbito deste estudo, pelo que estes são apresentados de seguida de forma mais detalhada:

(a) Temperatura: na Figura 2.4 mostra-se a temperatura média mensal do ar.



TA: Média da temperatura máxima (°C); TI: Média da temperatura mínima (°C).

Figura 2.4. Temperatura média do ar por mês, na Ilha da Madeira, (base na cidade do Funchal) [23]

Na Figura 2.5 apresenta-se o mapa da temperatura média anual do ar na Ilha da Madeira.

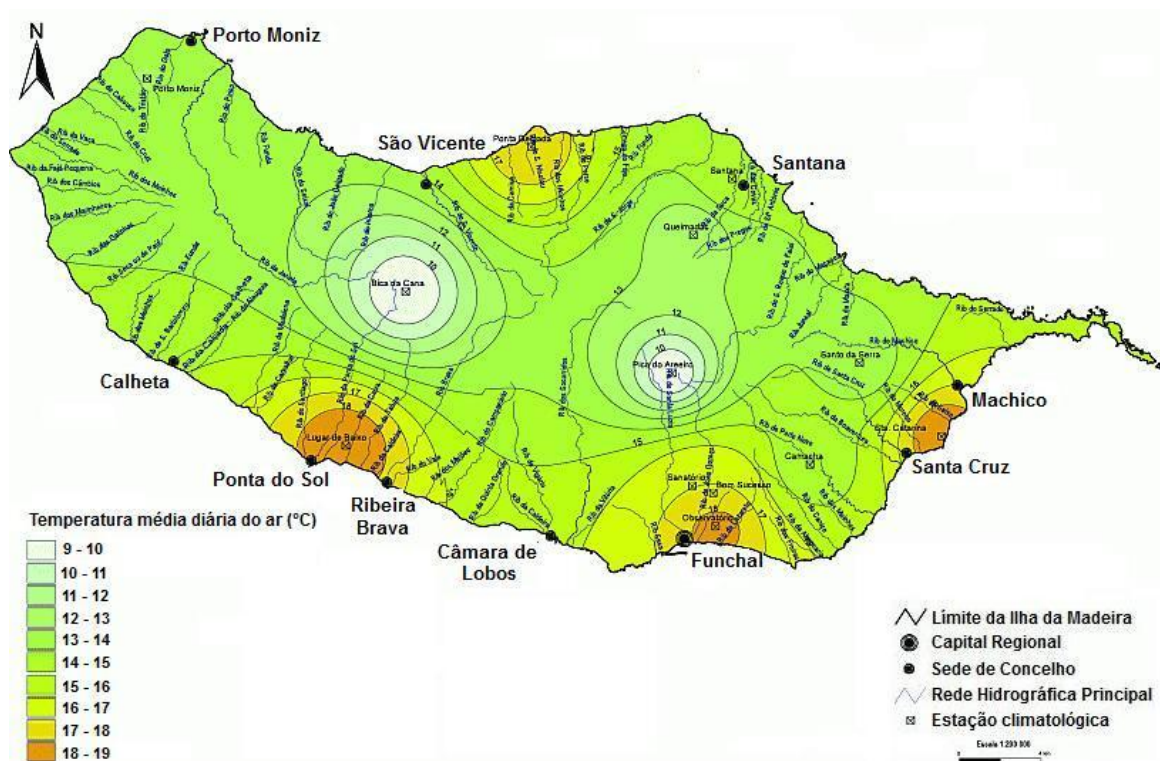
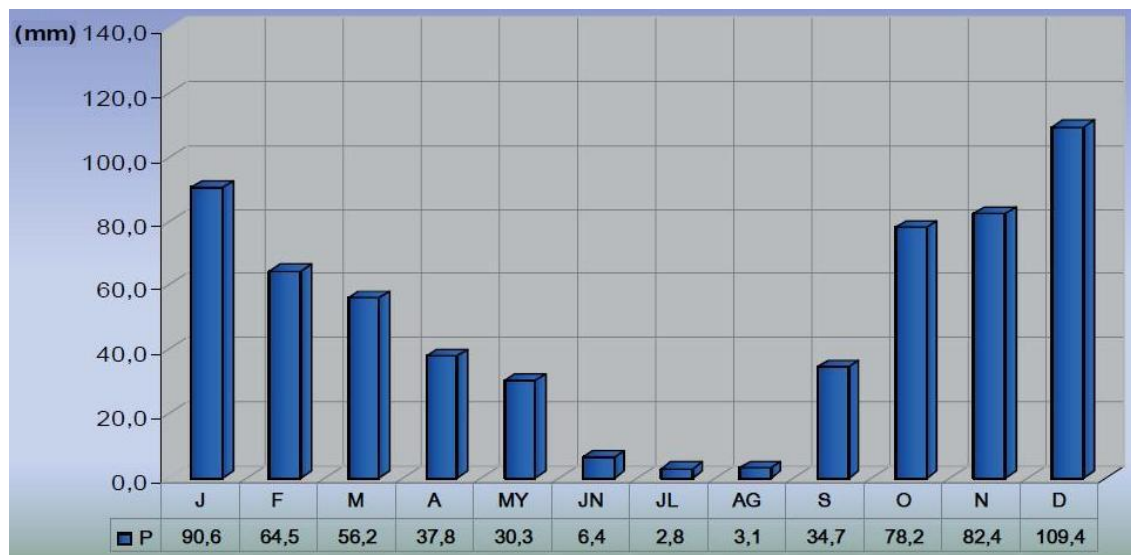


Figura 2.5. Temperatura média anual do ar na Ilha da Madeira [Adaptado de 24]

(b) Precipitação: na Figura 2.6 detalha-se os valores médios de pluviosidade mensal, medida em mm.



P: Média da quantidade de precipitação total (mm).

Figura 2.6. Média da precipitação total por mês, na Ilha da Madeira, (base na cidade do Funchal) [23]

Na Figura 2.7 mostra-se um mapa com os diferentes valores de precipitação na Ilha da Madeira.

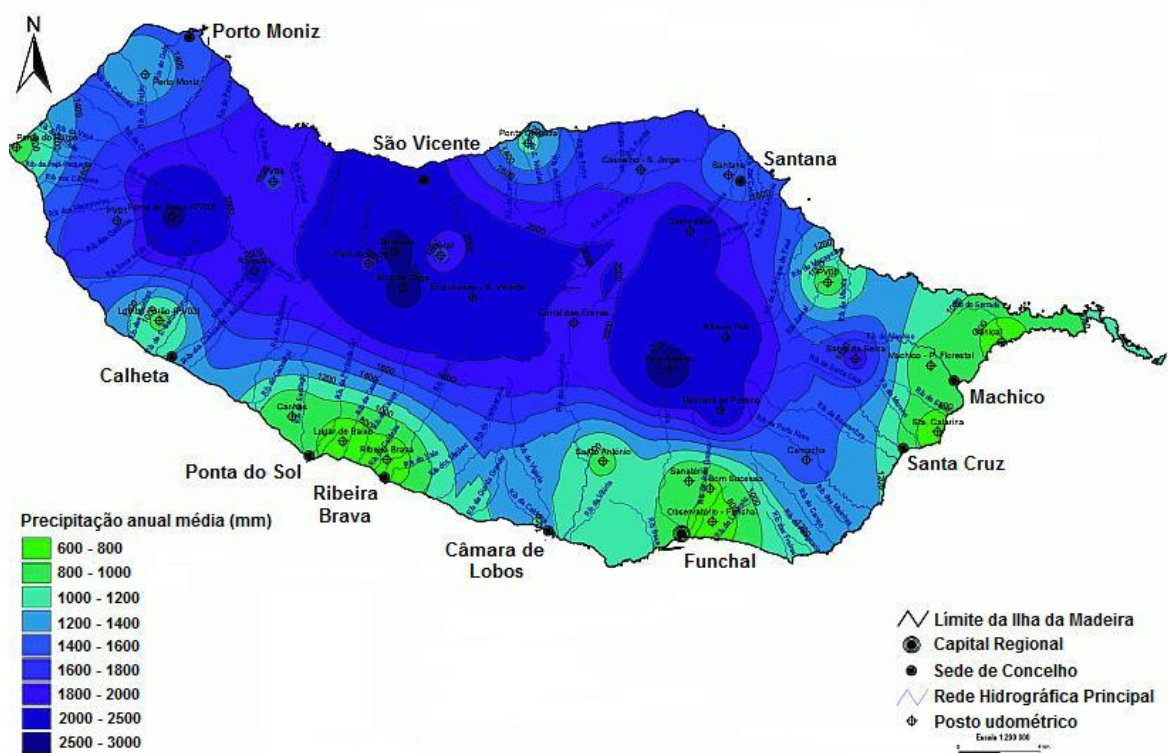


Figura 2.7. Precipitação média anual na Ilha da Madeira [Adaptado de 24]

2.1.6 Recursos florestais

A floresta na Madeira está composta por espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas. Nos projetos de reflorestação, têm sido escolhidas espécies exóticas e espécies indígenas. Algumas das árvores autóctones utilizadas são o Loureiro, Vinhático, Barbuzano, Faia, Til, Folhado, Pau-branco e Cedro-da-madeira e arbustos como o Urze-das-vassouras, Urze-molar e Uveira [25].

A floresta da Ilha da Madeira caracteriza-se pela:

- (a) **Floresta natural ou indígena:** caracterizada pelas espécies lenhosas autóctones da ilha [15], que ocupa 22% do território, principalmente no litoral norte, em zonas com declives abruptos, temperaturas baixas e de elevada humidade, incluindo a Laurissilva [25], considerada em Portugal e na Região como Zona de Proteção Especial (ZPE). A Laurissilva não se contabiliza como área para aproveitamento de biomassa para fins energéticos [16]. As espécies indígenas encontram-se protegidas nas zonas de floresta Laurissilva por diversos instrumentos legais regionais, nacionais e comunitários, embora existam algumas espécies localizadas fora das zonas protegidas [25].
- (b) **Floresta introduzida ou exótica:** espécies originárias de outras regiões, composta por povoamentos puros ou mistos [16], introduzidas para produção de madeira, proteção dos solos e para diminuir a erosão em terras degradadas [19], representando 18% da superfície no litoral sul da Ilha da Madeira. Entre as espécies, estão os Pinheiros bravos (*Pinus pinaster*), Acácias (*Acacia mearnsii*), Eucaliptos (*Eucalyptus globulus*), Castanheiros (*Castanea sativa*) e Nogueiras (*Juglans regia*), sendo estas duas últimas já naturalizadas [26]. Nesta floresta inclui-se as espécies que foram introduzidas pelos proprietários de terrenos florestais, pela qualidade das madeiras, como a Pseudotsuga (*Pseudotsuga mensiesii*) e a Criptoméria (*Cryptomeria japonica*) [15]. No subcoberto desta floresta, verifica-se a presença de outras espécies de tipo arbustivas, como a Giesta (*Cytisus scoparius*) e Carqueja (*Ulex europaeus*) [16].

Dos dois tipos de floresta existentes na Ilha da Madeira, as espécies introduzidas são as que oferecem maior interesse em termos de valorização energética, porque apresentam maior produtividade e maior risco de incêndio.

Os dois tipos de floresta são apresentados na Figura 2.8.

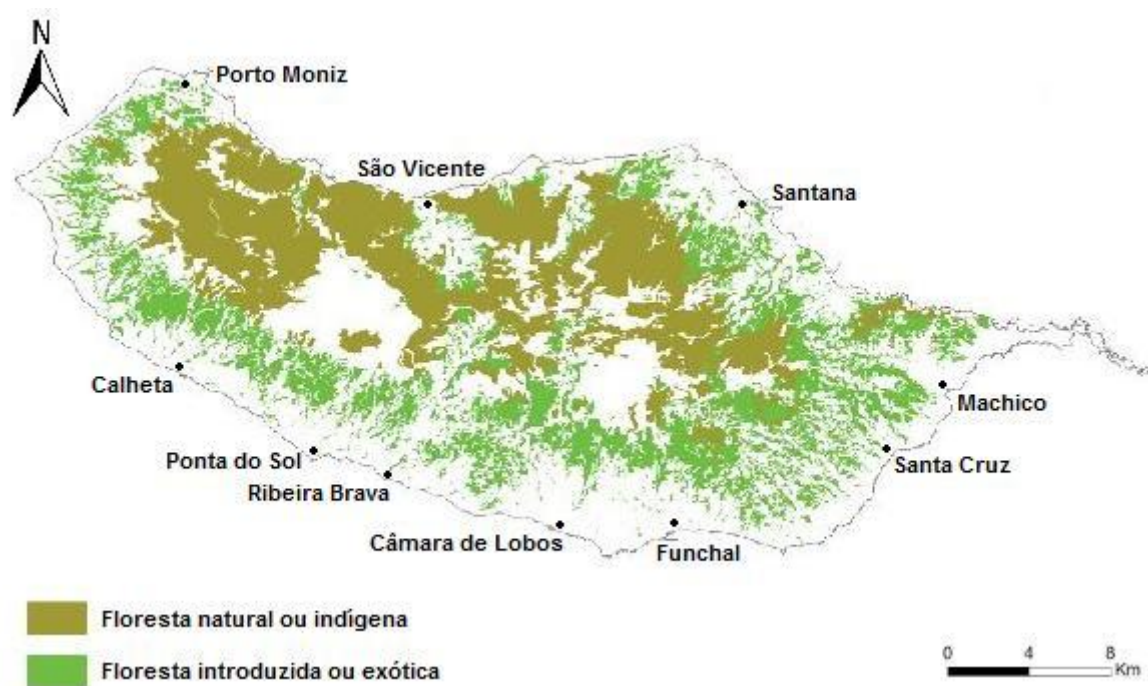


Figura 2.8. Floresta natural e introduzida na Madeira [Adaptado de 27]

A Figura 2.9 representa as áreas florestais a uma distância inferior a 250 m da rede viária, fator de elevada importância para a recolha de biomassa.

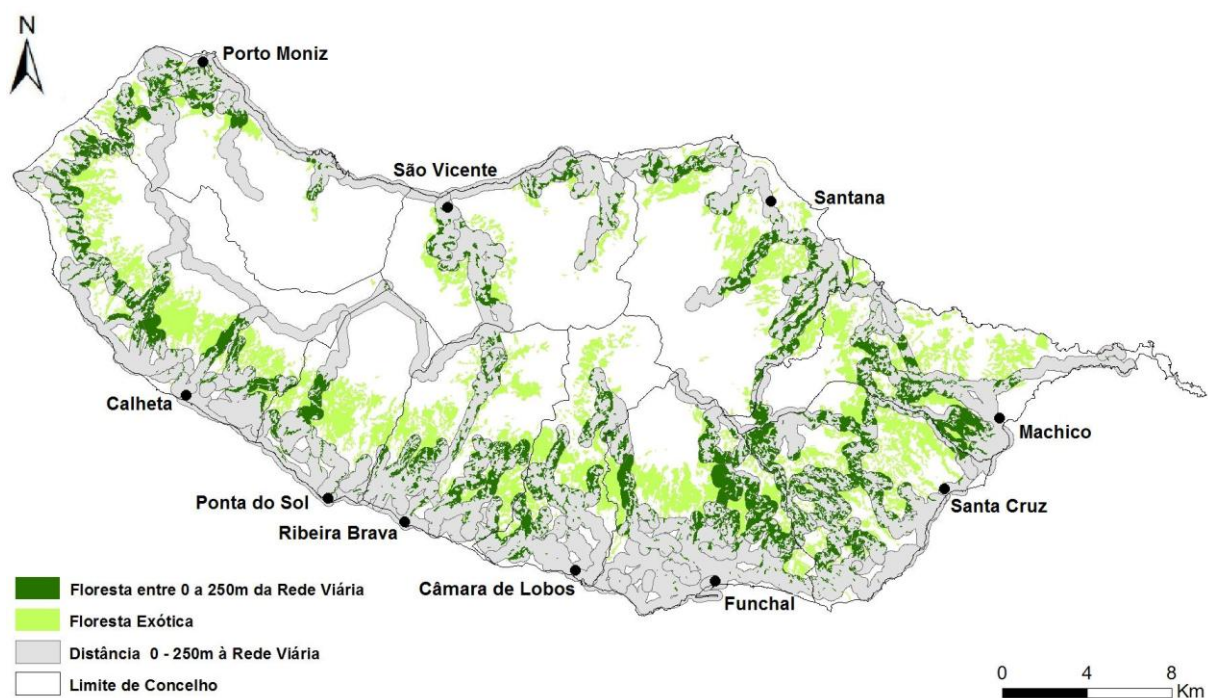


Figura 2.9. Zonas florestais a uma distância até 250 m da rede viária [Adaptado de 16]

As espécies a considerar para o projeto encontram-se descritas na Tabela 2.3.

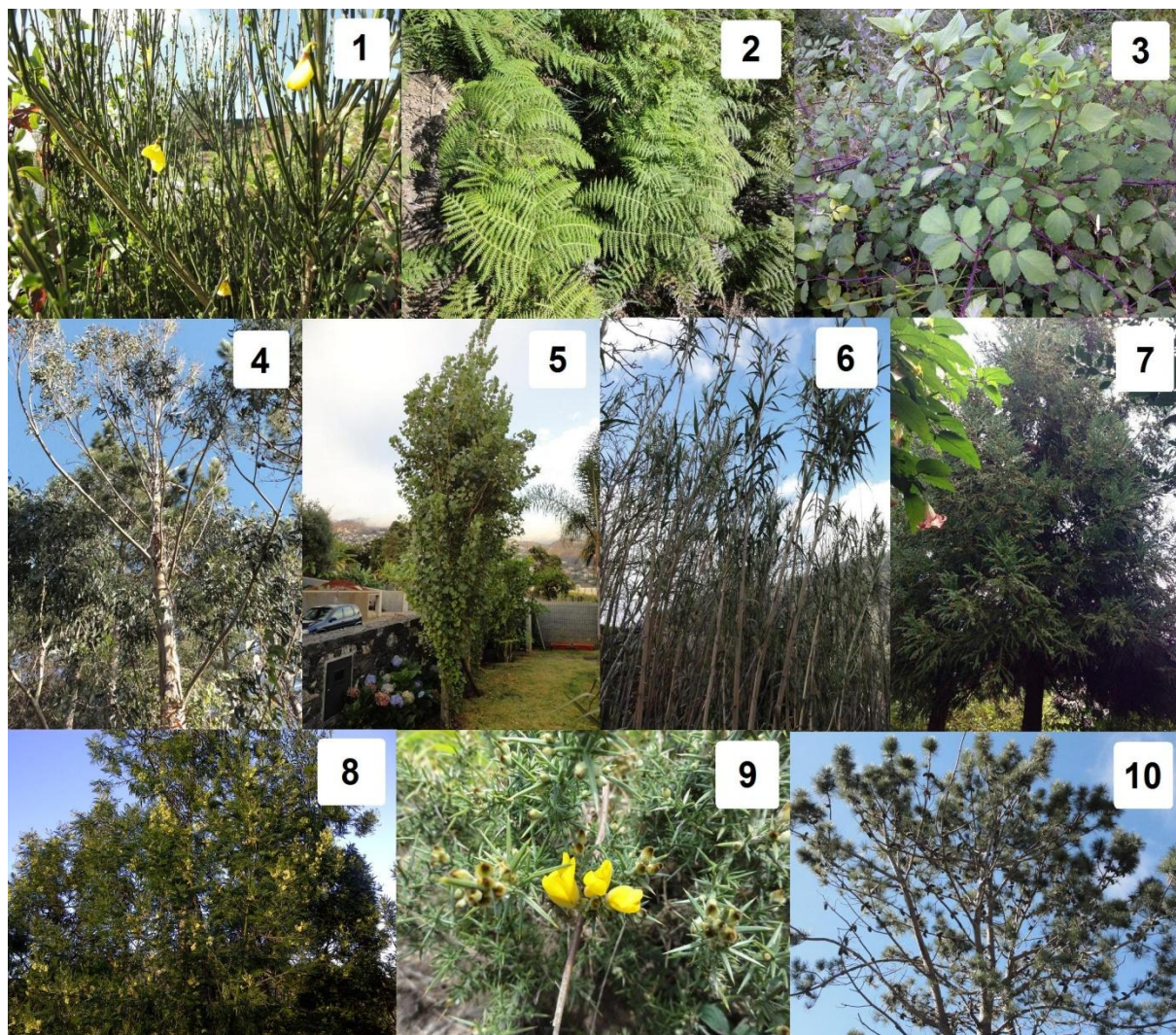
Tabela 2.3. Descrição das espécies a utilizar (continua)

Espécie / Família	Origem	Tipo de espécie	Caraterização física
Giesta (<i>Cytisus scoparius</i> L. Link) / Fabaceae (Leguminosas) [28]	Introduzida por acidente e naturalizada no século XVIII, sendo nativa da Europa [25; 29].	Exótica, invasora e introduzida [25; 28; 29].	Arbusto de folha caduca, altura máxima de 2 a 3 m, folhas trifoliadas até 1 cm de comprimento, frutos com comprimento de 4 até 5 cm, ao início verdes e depois pretos, já na maturidade, flores em forma de borboleta, amarelas até 2 cm, com floração entre janeiro e agosto [25; 29; 30].
Canavieira (<i>Arundo donax</i> L.) / Poaceae [28]	Introduzida pelo interesse dos caules e originária da parte oriental da Europa e da Ásia temperada e tropical [31].	Introduzida, invasora e exótica [28; 31; 32].	Caule simples e reto até 6 m de altura, cilíndricos e ocos, tipo lenhoso, folhas de 60 cm x 1 até 8 cm, esverdeadas com tonalidades acastanhadas compridas até as pontas finas e flores de 30 até 90 cm [29; 31; 33].
Feiteira (<i>Pteridium aquilinum</i>. L. Kuhn) / Hypolepidaceae [28]	Planta autóctone [34].	Nativa e invasora, em solos ácidos e inférteis [28; 35].	Planta triangular de 100 até 150 cm, verde como cor natural e castanha quando está seca, pé da folha, castanho-escuro e caules subterrâneos, castanhos-avermelhados [34; 35].
Criptoméria (<i>Cryptomeria japonica</i> L.F D.) / Taxodiaceae [36]	Introduzida no século XIX, cuja origem é o Japão e sul de China [25].	Resinosa exótica e introduzida [29].	Árvore até 50 m, copa piramidal (nas jovens) e irregular (nas adultas), tronco reto e casca acastanhada, folhas até 12 mm, ramos curtos e irregulares, pinhas castanho-escuras de 6 mm de comprimento e floração entre junho e agosto [25; 36].
Carqueja (<i>Ulex europaeus</i> L.) / Fabaceae (Leguminosas) [28]	Introduzida de forma intencional na Madeira, a metade do século XIX, com origem na parte ocidental de Europa [25; 29; 34].	Introduzida e invasora [28; 32].	Arbusto espinhoso até 2 m, de três folhas (nas jovens) e espinhosas e persistentes (nas adultas), cálice amarelado, com pelos longos, de 10 até 17 mm, flores amarelas, de entre 1,2 até 2 cm, que nascem entre janeiro e junho e frutos verde-acastanhado de 14 até 19 mm [25; 29; 34].

Tabela 2.3. Descrição das espécies a utilizar (conclusão)

Espécie / Família	Origem	Tipo de espécie	Caraterização física
Silvado (<i>Rubus grandifolius</i> Lowe) / Rosaceae (Rosáceas) [28]	Endémica [28].	Indígena [25].	Arbusto lenhoso e trepador, caules arqueados, com picos de até 3 mm, folhas com 5 pontas, ovalada e alargada até 18 cm, flores piramidais, brancas e oboval até 18 mm, com floração entre junho e setembro, sendo o fruto, as amoras comestíveis [25].
Acácia (<i>Acacia mearnsii</i> De Wild) / Fabaceae (Leguminosas) [28]	Introduzida no século XX, nativa de Tasmânia e zonas quentes de América, Ásia e África [25; 33].	Folhosa exótica, introduzida e invasora [25; 28; 32].	Árvore de 15 e 20 m de altura, folhas recompostas, com pelos finos, verde-escuro, flores pequenas amarelo-pálido e aromáticas, com floração entre dezembro a outubro e frutos de 5 até 7 mm de diâmetro [25; 37].
Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill) / Myrtaceae (Mirtáceas) [28]	Introduzida para atividades silvícolas e ornamentais, com origem na Tasmânia [34].	Introduzida e invasora [28; 29].	Árvore com tronco de casca lisa e tiras separadas de 20 m até mais de 45 m de tiras separadas, folhas ovaladas nas jovens mas curvadas e brilhantes nas adultas, com pontas em forma de lança e esverdeadas, flores verdes com tons em cinzento e fruto arredondado, rugoso, de quatro pontas [29; 34].
Pinheiro bravo (<i>Pinus pinaster</i> Aiton) / Pinaceae (Pináceas) [28]	Introduzida nos finais do século XVIII, com origem no Sudeste de Europa e Norte de África [38; 39].	Resinosa exótica e invasora [25; 32].	Conífera até 40 m, piramidal nas jovens e arredondada para as adultas, casca castanho-avermelhada, folhas com forma de agulha, até 25 cm e verde-escuras, floração entre março e abril e pinhas cónicas alargadas, acastanhadas de 10 até 22 cm [25; 29; 39].
Choupo (<i>Populus tremula</i>) / Salicaceae [40]	Introduzida em “Europa, Ásia e África”, sendo pouco implantada em Portugal Continental [40].	Introduzida [40].	Árvore até 30 m de alto, tronco cilíndrico, casca lisa (nas jovens), sendo nas adultas, rugosa e quase negra, folhas arredondadas, de tipo caduca e vários dentes laterais, flores unissexuadas avermelhadas e frutos com sementes dispostos de pelos voadores, libertados ao bater do vento [30; 40].

A representação física de cada uma das espécies detalhadas na Tabela 2.3, são apresentadas na Figura 2.10.



1 Giesta; 2 Feiteira; 3 Silvado; 4 Eucalipto; 5 Choupo; 6 Canavieira; 7 Criptoméria; 8 Acácia; 9 Carqueja; 10 Pinheiro bravo.

Figura 2.10. Representação física das espécies

Do IFRAM1 de 2008 (único na Região), são apresentados dados de área, volume e número de árvores dos povoamentos mais dominantes da Ilha da Madeira, sendo detalhados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4. Área, densidade média e volume das espécies de árvores, para a floresta cultivada [17]

Espécie	Composição	Área dos povoamentos		Número de árvores e densidade média		Volume existente		Volume em crescimento	
		ha	%	N (x1000)	N/ha	1000 m ³	m ³ /ha	1000 m ³	m ³ /ha
Pinheiro bravo	Puro	3.023	36	701	232	694	230	677	224
	Misto dominante	3.155	37	517	164	609	193	604	192
	Dominado e diverso	2.335	27	246	-	208	21	190	19
Eucalipto	Puro	2.986	35	1.762	590	1.067	357	1.019	341
	Misto dominante	3.236	38	809	250	679	210	648	200
	Dominado e diverso	2.278	27	237	-	261	-	261	-
Acácia	Puro	926	26	632	314	200	99	200	99
	Misto dominante	1.089	30						
	Dominado e diverso	1.602	44	603	-	223	-	220	-
Outras folhosas	Puro	213	11	254	265	118	123	115	121
	Misto dominante	138	7						
	Dominado e diverso	1.509	81	210	-	54	-	53	-
Outras resinosas	Puro	532	78	202	319	237	376	237	375
	Misto dominante	100	15						
	Dominado e diverso	50	7	109	-	97	-	96	-

Para compreender a Tabela 2.5 que se apresenta a seguir, deve-se definir a floresta natural como aquela constituída pelas árvores indígenas que não foram plantadas. Inclui espécies da floresta Laurissilva, a floresta que se desenvolve próximo de cursos de água e as áreas ardidas da floresta natural [17].

Tabela 2.5. Área de cada tipo de floresta de acordo com a espécie [17]

Ocupação florestal	Área de cada ocupação florestal	
	ha	%
Pinheiro bravo	6.178	37
Eucalipto	6.222	38
Acácias	2.016	12
Castanheiro	607	4
Outras folhosas	351	2
Outras resinosas	986	6
Povoamentos-espécies dominantes (soma das anteriores)	16.359	99
Áreas de corte raso	44	<1
Floresta cultivada ardida	119	<1
Floresta cultivada (soma das três anteriores)	16.522	100
Floresta cultivada	16.522	48
Floresta natural	16.143	47
Outras áreas arborizadas¹	1.559	5
Total da Floresta e Outras Áreas Arborizadas (FOAA) (soma das três anteriores)	34.224	100

¹ Constituído maioritariamente por urzais arbóreos.

A Tabela 2.6 apresenta a área de cada tipo de floresta por agrupamento de concelhos, tanto em hectare como em percentagem.

Na Tabela 2.7 mostra-se as quantidades de biomassa em toneladas por hectare que são produzidas na RAM para algumas espécies, assim como as toneladas de resíduos anuais obtidos na indústria transformadora de madeira (ITM) e dos resíduos verdes e madeiras da Estação de Transferência do Funchal (ETF), dados que permitem ter uma estimativa da quantidade de biomassa disponível para fins energéticos. Como não se dispõe de dados atuais, foram utilizados os apresentados no trabalho da AREAM referente à “*Avaliação do Potencial Energético da Biomassa na Região Autónoma da Madeira*” com valores que datam dos anos 2001 e 2003, já que estes permitem ter uma ordem de grandeza das quantidades [15].

Tabela 2.6. Área de cada tipo de floresta, por grupo de concelhos para cada espécie [17]

Grupo de concelhos	Tipo de floresta	Área de cada tipo de floresta por agrupamento de concelhos	
		ha	%
Centro Funchal Câmara de Lobos	Povoamentos de Pinheiro bravo	732	20
	Povoamentos de Eucalipto	1.515	41
	Povoamentos de outras espécies	1.033	28
	Laurissilva	219	6
	Outras ocupações resinosas ¹	188	5
Leste Machico Santa Cruz	Povoamentos de Pinheiro bravo	1.859	30
	Povoamentos de Eucalipto	1.590	25
	Povoamentos de outras espécies	1.177	19
	Laurissilva	1.621	26
	Outras ocupações resinosas ¹	44	1
Norte Santana São Vicente Porto Moniz	Povoamentos de Pinheiro bravo	1.164	7
	Povoamentos de Eucalipto	895	5
	Povoamentos de outras espécies	895	5
	Laurissilva	12.538	74
	Outras ocupações resinosas ¹	1.502	9
Oeste Calheta Ponta do Sol Ribeira Brava	Povoamentos de Pinheiro bravo	2.422	35
	Povoamentos de Eucalipto	2.222	32
	Povoamentos de outras espécies	501	7
	Laurissilva	1.490	22
	Outras ocupações resinosas ¹	263	4

¹ Inclui as áreas de corte raso, as áreas ardidas e as áreas de floresta natural ripícola.

Tabela 2.7. Quantidade de resíduos de biomassa [15]

Proveniência	Tipo	Biomassa
Floresta da RAM	Acácia	9,60 t/ha
	Criptoméria	0,72 t/ha
	Eucalipto	0,88 t/ha
	Matos	0 t/ha
	Pinheiros	1,06 t/ha
	Povoamentos florestais mistos	1 t/ha
ITM	Serrações e carpintaria	4.440 t/ano
Resíduos verdes e madeiras da ETF	Estilha	336 t/ano
	Paletes e madeiras	2.364 t/ano

2.2 Processos de conversão da biomassa

2.2.1 Trituração ou estilhaçamento

A trituração ou estilhaçamento aumenta a área específica do material, permitindo uma homogeneização das partículas, melhorando assim o seu manuseamento, transporte e propriedades de combustão, quando se trata da queima do material [4]. Com o tamanho de partícula adequado para cada tipo de processo, também é garantido um menor consumo de energia no processo de densificação e permite obter um produto mais denso [41]. Existem dois tipos de estilhaçadores: o de facas (para material homogêneo como árvores inteiras) e o de martelo (para material heterogêneo como resíduos florestais) [12]. O produto que se obtém deste processo é a estilha.

A caracterização da estilha é apresentada na Tabela 2.8.

Tabela 2.8. Definição, usos, vantagens e desvantagens da estilha

Estilha	
Definição	Material orgânico composto por fragmentos de biomassa florestal, obtidos pela trituração da madeira [10].
Usos	Combustível para sistemas de aquecimento com potências superiores aos 50 kW, incluindo todos os sistemas de combustão e sistemas de gasificação para motores de combustão [42]. Fibra para a produção de papel. Matéria-prima para a produção de <i>pellets</i> e briquetes. Produção de tábuas de fibras e partículas [4].
Vantagens	Pequenos tamanhos de estilha, apresentam maior densidade aparente portanto, menor volume requerido para o seu armazenamento [4]. Disponível a nível local, permitindo a criação de emprego [43]. Sem grandes variações de preço, sendo mais barato do que os <i>pellets</i> [44]. Processo de produção simples. Maior eficiência em instalações de grande potência [44]. Contribui para a limpeza florestal [44]. Obtém-se de resíduos florestais ou da indústria (serrações) sem necessidade de cortar árvores só para sua produção [44]. Melhora a eficiência e as características da combustão [7]. Disponível para os utilizadores de energia.
Desvantagens	Pequenos tamanhos de estilha requerem maior custo de produção [4]. Grandes espaços de armazenamento, quando comparado com os <i>pellets</i> . Deve ser homogêneo, para ser utilizado em sistemas de combustão [42]. Maior necessidade de manutenção dos sistemas de combustão [43]. Valores superiores de teor de humidade, quando compara-se com outros combustíveis sólidos como os <i>pellets</i> e briquetes.

2.2.2 Secagem

A secagem permite diminuir a humidade contida no material para aumentar o poder calorífico, facilitando tanto o processo de produção como a qualidade do produto. Uma baixa humidade do material melhora a densidade, assim como a durabilidade dos combustíveis sólidos, sendo o mais recomendável a obtenção de um valor de humidade entre 8% a 20%, já que o processo de compactação requer uma certa quantidade de humidade para suavizar o material [41].

Os secadores mais comuns para a biomassa utilizam como fluido de trabalho ar quente, sendo conhecidos como secadores diretos, uma vez que o material entra em contato diretamente com o fluido de secagem (gases de combustão) [45] e podem usar diversos tipos de combustíveis, como biomassa, gás metano, gásóleo, fuelóleo, entre outros.

Os secadores com ar quente são apresentados na Tabela 2.9.

Tabela 2.9. Descrição dos diferentes tipos de secadores

Secador	Caraterísticas
Tambor rotativo	Altas temperaturas, de tipo contínuo, horizontal e roda em torno de um eixo longitudinal, melhorando a transferência de calor e massa, sendo um dos mais utilizados pela sua elevada eficiência energética [45; 46; 47].
Cascata	Contínuo, vertical, com temperaturas máximas de 140°C (consideradas baixas), sendo o ar introduzido em contracorrente com o material de entrada e utilizado para secagem de grãos [45; 48].
Banda	Horizontal, contínuo, opera a baixas temperaturas (até 145°C) e em contracorrente com duas bandas superpostas, fator que garante uma elevada eficiência energética com baixas emissões de partículas sólidas [48].
Flash	Baixa temperatura (acima do ponto de combustão) tendo como maiores vantagens um tempo de retenção inferior a 30 s, baixo consumo de energia, emissões mínimas e risco mínimo de incêndio [45; 46].

2.2.3 Compactação ou densificação

A compactação ou densificação tem por finalidade incrementar a densidade do material, através de uma compressão mecânica com um aumento de pressão, mantendo-se a massa do material e diminuindo o volume ocupado, para reduzir os custos de transporte e de armazenamento [4]. Dois métodos que podem ser aplicados ao material para melhorar a compactação e durabilidade é a adição de aglutinantes, que incrementa a ligação entre as partículas da biomassa (é maior quando há um alto conteúdo de proteína ou amido no material utilizado), sendo entre alguns dos ligantes mais conhecidos o óleo vegetal ou as ceras e o último método é a adição de vapor, onde ocorre a libertação e ativação de ligantes naturais presentes na biomassa [41].

Existem várias tecnologias que aumentam a densidade de energia da biomassa através da densificação mecânica, que diferem tanto no processo como nas características físicas do produto obtido, as quais são apresentadas na Tabela 2.10.

Tabela 2.10. Tecnologias de densificação [41]

Tecnologia	Maquinaria utilizada	Forma e dimensões	Outras especificações
Fardos	Máquinas agrícolas que permitem a compressão do material.	Quadrado (1,5x1,5) m. Retangular (0,9x0,9x1,8) m. Cilíndrico (1,2x1,5) m.	Os cilíndricos são menos dispendiosos. Os quadrados apresentam maior densidade, manuseamento e fácil transporte.
Cubos	Prensa composta por rodas, para exercer força sobre o material.	Quadrado [(13 até 38)x(25 até 102)] mm.	Comprime a biomassa que se encontra triturada.
Discos	Briquetadeiras que prensam o material já triturado a um tamanho de partícula adequado.	Semelhante a um disco de hóquei de 75 mm de diâmetro.	Resistentes à humidade, densidade semelhante aos <i>pellets</i> e custo de produção mais baixo que os <i>pellets</i> .
Aparas de madeira	Triturador de madeira.	Partículas de madeira de 5 até 50 mm de comprimento.	Preço comparável com o carvão.

A estrutura física das tecnologias de densificação são apresentados na Figura 2.11.



1 Fardo cilíndrico; 2 Fardo quadrado; 3 Fardo retangular; 4 Cubos; 5 Discos; 6 Aparas de madeiras.

Figura 2.11. Representação física das tecnologias de densificação [49; 50; 51; 52; 53; 54]

Para os *pellets* e briquetes, são apresentadas as tecnologias seguintes:

- (a) **Peletização:** apresentam vários tipos de prensa como a de matriz anel ou cilíndrica vertical com rolos estacionários e a prensa de matriz plana com rolos em movimento [12]. Em ambos

os casos, a matriz mantém-se fixa, enquanto os rolos giram [55]. A peletizadora garante uma redução do volume do material de três a cinco vezes o seu tamanho, facilitando o seu armazenamento e transporte.

(b) Briquetagem: as prensas são de dois tipos, as de pistão hidráulico, que exercem a força através de um cilindro com movimento mais lento, para processos de pequena escala (50 até 400 kg/h), e as de pistão mecânico, que apresentam elevada força de compressão, para processos de grande escala (200 até 2.500 kg/h), as quais permitem a obtenção de um produto de boa qualidade sem adição de ligantes e têm maior vida útil e melhor retorno do investimento do que a prensa de pistão hidráulico, que admite maiores teores de humidade no material [55].

A Tabela 2.11 apresenta os valores mínimos e máximos da densidade, teor de humidade, teor de cinzas, poder calorífico e dimensões, com base na bibliografia consultada para a estilha, *pellets* e briquetes. O valor final por parâmetro e por combustível sólido vai depender da maquinaria utilizada para a sua obtenção, assim como da matéria-prima.

Tabela 2.11. Caracterização físico-química da estilha, *pellets* e briquetes

Parâmetros	Estilha	<i>Pellets</i>	Briquetes
Densidade (kg/m ³)	(200 - 350) [4; 43]	(550 - 1.190) aparente [3; 41]	(320,37 - 1.500) [2; 56]
Teor de humidade (%)	(10 - 25) [43; 57]	(8 - 10) [56]	(10 - 12) [56]
Teor de cinzas (%)	(<0,5 - 1) [42; 43]	(0,5 - <1) [43; 57]	0,5 [42]
Poder calorífico (kJ/kg)	(13.320 - 16.000) [43; 57]	(16.920 - 22.190) [3; 43]	(18.500 - 22.190) [3; 42]
Densidade de energia (GJ/m ³)	(2,68 - 5) [43; 57]	(9,8 - 14) [41]	6,4 [41]
Dimensões LxDxE (mm)	(10-100)x(10-40)x20 [4; 42]	(12,7-25,4)x(4,8-19,1) [2]	(150-500)x(20-200) [3]

Na Figura 2.12, apresenta-se um exemplo da estrutura física da estilha, *pellets* e briquetes.



1 Estilha de madeira; 2 *Pellets* (elaboração própria); 3 Briquetes.

Figura 2.12. Representação física dos produtos de interesse [58; 59]

Na Tabela 2.12, detalha-se a caracterização dos produtos de interesse, os *pellets* e briquetes.

Tabela 2.12. Definição, usos, vantagens e desvantagens dos *pellets* e briquetes (continua)

Aspetos	<i>Pellets</i>	Briquetes
Definição	Combustível orgânico, uniforme e cilíndrico, produzido pela compressão do material, aumentando a sua densidade [43].	Combustível que difere com os <i>pellets</i> na maquinaria utilizada para a sua obtenção, tamanho de partícula da matéria-prima antes da compactação, no tamanho, forma e uso [4].
Usos	Em qualquer processo de combustão (doméstico e industrial), tanto para aquecimento, como na produção de energia elétrica [4].	Sistemas de combustão pequenos e manuais, como fornos, caldeiras e lareiras abertas, para uso doméstico ou industrial [3; 42].
Vantagens	<p>Utiliza como matéria-prima estilha e resíduos de madeira, incluindo os da indústria transformadora de madeira [43].</p> <p>Flexibilidade no acondicionamento da matéria-prima [56].</p> <p>Melhora as propriedades da biomassa a nível energético, pelo baixo teor de humidade que repercute diretamente no alto poder calorífico [2; 8].</p> <p>Não é sempre necessária a adição de aglutinantes na compactação [43].</p> <p>O produto apresenta grande uniformidade das suas características [43].</p> <p>Maior densidade, facilitando o seu manuseamento, transporte e armazenamento [3].</p> <p>Maior facilidade na operação e manutenção dos sistemas de combustão [43].</p> <p>Não apresenta maus cheiros, sem riscos de fuga, sendo secos e limpos [2; 44].</p> <p>Alta disponibilidade comercial podendo ser utilizado em caldeiras de alimentação automática [2; 44].</p>	<p>Utiliza como matéria-prima estilha e uma mistura de vários tipos de biomassa residual (silvícola e da indústria da madeira) [3].</p> <p>Não requer pré-adensamento ou aglutinantes [56].</p> <p>Utiliza um tamanho de partícula maior que no caso dos <i>pellets</i> [56].</p> <p>Maior poder calorífico do que os <i>pellets</i> [55].</p> <p>O processo utiliza componentes de baixa potência [56].</p> <p>Maior densidade, o que facilita o seu manuseamento, transporte e armazenamento por apresentar um menor volume do que a matéria-prima [3; 60].</p> <p>Não apresenta risco de explosão, nem volatilidade, nem toxicidade, sem maus cheiros, sem riscos de fuga, sendo secos e limpos [2; 44].</p> <p>Melhora a eficiência e características da combustão, devido à menor emissão de partículas [7; 55].</p>

Tabela 2.12. Definição, usos, vantagens e desvantagens dos *pellets* e briquetes (conclusão)

Aspetos	<i>Pellets</i>	Briquetes
Desvantagens	Podem partir facilmente.	A casca não pode ser utilizada para a sua produção [42].
	Preços de venda mais altos do que no caso da estilha.	O pré-acondicionamento da matéria-prima (tamanho de partícula, humidade e temperatura) deve ser adequado, para garantir a qualidade do briquete [56].
	Maior grau de qualidade para os <i>pellets</i> de caldeiras domésticas, do que para as industriais, por ser requerido menores emissões nas domésticas [2; 61].	Rigor na composição da biomassa utilizada, porque afeta o poder calorífico dos briquetes [56].
	Não pode apresentar conteúdos de casca para os <i>pellets</i> domésticos, pela quantidade de cinzas produzidos [2].	Requerido equipamento adicional para secagem [56].
	Diferentes composições das espécies a utilizar pode afetar as propriedades de combustão [2].	Custo inicial de investimento elevado para o processo [56].
	A densidade, resistência mecânica e durabilidade são altamente dependentes da temperatura após o processo de peletização [2].	
	A possível utilização de aglutinantes encarece o processo [3].	
	O pré-acondicionamento da matéria-prima (tamanho de partícula, humidade e temperatura) devem ser adequados, para garantir a qualidade do <i>pellet</i> [56].	
	Requerido equipamento adicional para secagem e arrefecimento [56].	
	Custo inicial de investimento elevado para o processo, sendo mais caro do que a estilha [3; 56].	

2.2.4 Combustão da biomassa

A combustão é o método mais antigo de aproveitamento da energia da biomassa, principalmente para a geração de calor. Este é um processo termoquímico onde ocorre a queima do combustível, a altas temperaturas (oscilam entre os 800 até 1000°C), para garantir uma combustão completa, numa atmosfera com excesso de oxigénio [2]. Para uma combustão eficiente, é importante manter o abastecimento contínuo da biomassa na caldeira [7] e assegurar que o teor de humidade da biomassa seja inferior a 50% [2], através de uma secagem adequada, que pode ser natural.

2.3 Políticas a nível comunitário, nacional e regional

Entre os documentos de política mais importantes, refere-se os seguintes:

- (a) **A nível comunitário ou Europeu:** O *“Livro Verde da Comissão - 2006”*, a *“Política Energética para a Europa - 2007”* e a *“Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho - 2009”*, sendo o de maior interesse o *“Pacote clima-energia: três vintes até 2020, de 17 de dezembro de 2008”*, que foi aprovado pelo Parlamento Europeu, com o objetivo de reduzir em 20% (ou 30%, se for possível chegar a um acordo internacional) da emissão de gases com efeito de estufa, assegurar que 20% da energia consumida provém de fontes renováveis e aumentar 20% a eficiência energética [62].
- (b) **A nível nacional:** A *“Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020)”*, mas os documentos de maior relevância são o *“Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE 2016)”* e o *“Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER 2020)”*, que definem as medidas a adotar no domínio da energia, com vista a aumentar a participação das energias renováveis e redução das emissões de dióxido de carbono [63].
- (c) **A nível regional:** O *“Plano de Ação para a Energia Sustentável da Ilha da Madeira (Março 2012)”*, o qual estabelece os objetivos e as metas para a Ilha da Madeira, até ao ano 2020, no que respeita à energia. Entre as metas traçadas, destaca-se o aumento da participação das fontes de energia renováveis para 20% da energia primária em 2010, incluindo a energia da biomassa, e a redução de 20% das emissões de gases com efeito de estufa até 2020, em relação a 2005 [14].

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caraterização físico-química das amostras

Para a realização do estudo, foi necessário proceder à caraterização física da biomassa, no que diz respeito à medição da massa volúmica e à determinação do teor de humidade, do teor de cinzas e ao poder calorífico.

A biomassa a estudar tem origem em caules, ramos, folhas, ritidoma (casca), aparas, serrim, entre outras [64], oriundos de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas.

A primeira recolha foi efetuada na localidade de São Paulo, no concelho de Ribeira Brava, no dia 29 de janeiro de 2013, sendo recolhidas amostras de Giesta, Canavieira, Feiteira, Carqueja, Silvado, Acácia, Eucalipto e Pinheiro bravo. Devido ao pouco material colhido, procedeu-se a uma segunda amostragem, desta vez de Silvado, realizada no dia 22 de fevereiro de 2013, na localidade de Santo António, no concelho do Funchal. A terceira foi no dia 28 de fevereiro, para recolha de Criptoméria, em Santo António da Serra, no concelho de Machico, e de Choupo, num jardim particular, no concelho do Funchal. Devido à pouca quantidade de Acácia disponível na amostra, foi realizada uma recolha adicional na localidade de São Paulo, em Ribeira Brava, no dia 12 de abril, ficando assim concluídas as recolhas de amostras.

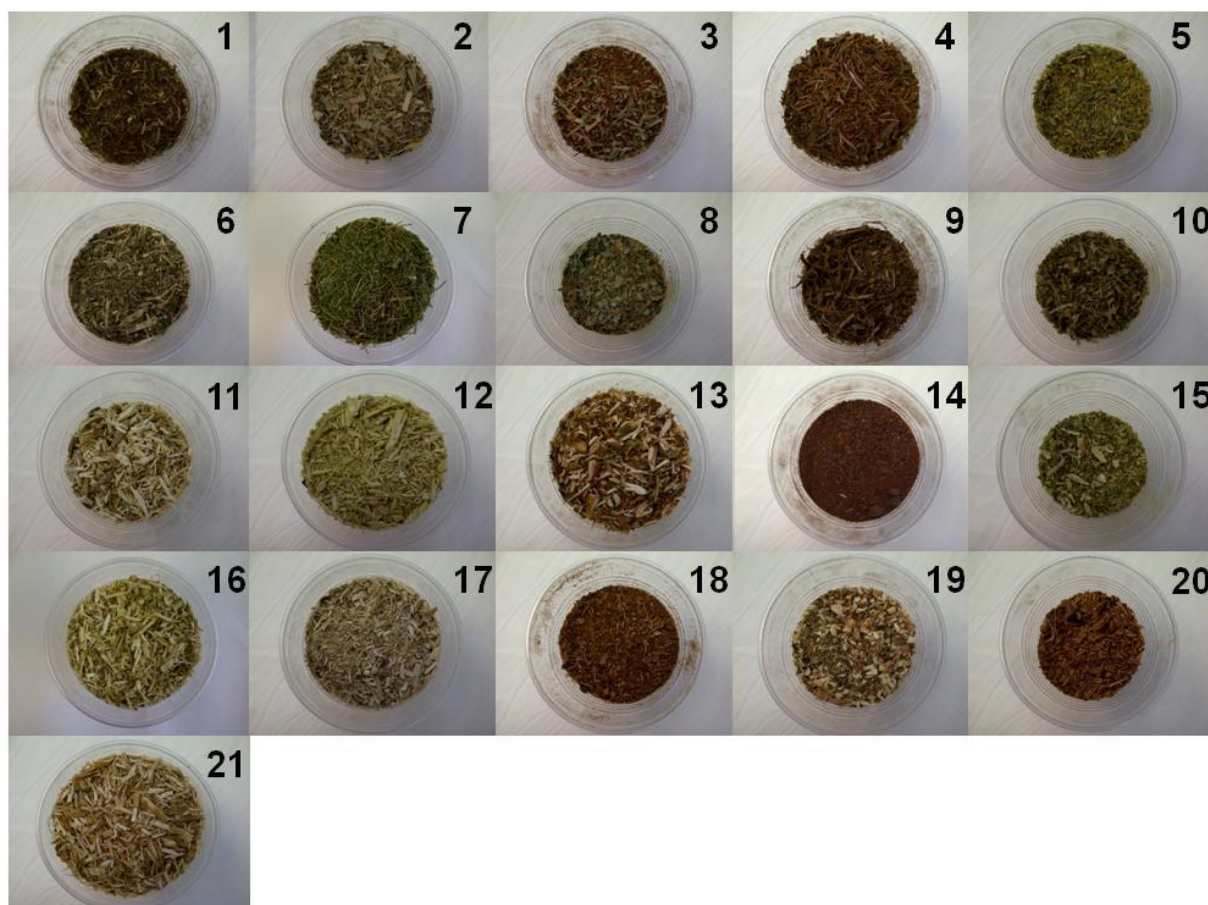
As amostras, depois de recolhidas, foram colocadas num espaço aberto, expostas ao sol e vento, mas abrigadas da chuva, para garantir uma melhor e mais rápida secagem do material. Após a secagem da biomassa, foi realizada uma separação por partes, nomeadamente folhas, ramos, caules, casca, frutos e pinhas, sendo cortados e introduzidos em sacos de 15x15 cm, previamente identificados com o nome e parte da espécie, localidade, concelho e data da recolha. A medição do teor de humidade é realizada após a secagem natural (tempo de secagem entre 4 a 8 semanas), a fim de determinar o valor mínimo de humidade que pode ser atingido na natureza.

Para cada época do ano, existem condições climáticas diferentes, principalmente ao nível da temperatura, vento e precipitação. Contudo, apesar de não ser realizada a recolha para cada mês do ano, pode-se afirmar que as recolhas das espécies foram realizadas no período de maior precipitação do ano, nomeadamente os meses de janeiro e fevereiro.

As medições foram efetuadas no Laboratório de Química Orgânica e Produtos Naturais da Universidade da Madeira, com a ajuda e orientação da Professora Doutora Paula Castilho. Foram utilizados dois equipamentos para a moagem e trituração das partes constitutivas de cada espécie: um moinho manual essencialmente para a trituração das folhas e um triturador elétrico, que funciona a diferentes potências e requer um tamanho do material de 1 até 2 cm, sendo utilizadas as partes mais duras como os ramos, os caules, as pinhas, os frutos e a casca.

Na Figura 3.1 é apresentada a aparência física, assim como o tamanho das partículas de cada um dos materiais moídos e triturados para cada parte das espécies. Dentro de uma mesma espécie, aquelas que foram recolhidas verdes e as já secas foram misturadas após a secagem natural (por exemplo, as folhas secas e as folhas verdes do Eucalipto), assim como os ramos grossos com os

ramos finos. Contudo, foram determinados no laboratório os valores característicos para as folhas separadamente dos ramos, para verificar se compensa ou não, o aproveitamento destas.



1 Giesta (folhas); 2 Canavieira (folhas); 3 Feiteira; 4 Criptoméria (folhas); 5 Carqueja (folhas); 6 Silvado; 7 Acácia (folhas); 8 Eucalipto (folhas); 9 Pinheiro bravo (folhas); 10 Choupo (folhas); 11 Giesta (caules); 12 Canavieira (caules); 13 Criptoméria (ramos); 14 Pinheiro bravo (casca); 15 Carqueja (ramos); 16 Acácia (ramos); 17 Eucalipto (ramos); 18 Eucalipto (frutos); 19 Pinheiro bravo (ramos); 20 Pinheiro bravo (pinhas); 21 Choupo (ramos).

Figura 3.1. Representação física das partes moídas ou trituradas por espécies

Depois de determinar as propriedades para cada espécie, procedeu-se à seleção da parte da espécie que deve ser considerada para uma ótima qualidade dos *pellets* e briquetes. No caso em que algumas das partes da espécie não possam ser utilizadas, deve ser efetuada a pré-seleção do material (antes de entrar no processo), procurando sempre uma utilização para os resíduos não aproveitados, dentro da instalação.

Antes de proceder com a metodologia utilizada para a determinação de cada parâmetro a avaliar, será apresentado, na Tabela 3.1 a caracterização simplificada dos parâmetros físicos-químicos da biomassa.

Tabela 3.1. Caracterização dos parâmetros físico-químicos da biomassa

	Parâmetro	Definição	Equação	Outros fatores
Parâmetro físico	Massa volúmica	Massa por unidade de volume.	$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$ <p>ρ: Massa volúmica do material (g/cm³); m: massa do material (g); V: Volume do material (cm³).</p>	<p>A massa volúmica da biomassa é superior recém-cortada (verde) que completamente seca [65].</p> <p>Para aumentar a massa volúmica do material, deve-se recorrer ao processo de compactação [41].</p>
Parâmetros químicos	Teor de humidade	Quantidade de água presente na biomassa, podendo ser determinada em base seca ou base húmida [43].	$T.H = \left(\frac{m_0 - m_s}{m_0} \right) \cdot 100\% \quad (3.2)$ <p>T.H: Teor de humidade (%); m_0: Massa da amostra inicial (g); m_s: Massa da amostra seca (g) [66].</p>	<p>A equação (2.2) permite determinar o teor de humidade em base húmida.</p> <p>A humidade em base seca é caracterizado pela mudança do divisor por a massa de amostra seca (sem água) [7].</p> <p>O teor de humidade em base húmida é sempre menor que o teor de humidade em base seca [7].</p>
	Teor de cinzas	Quantidade de matéria inorgânica (não combustível) presente na combustão desde o início ou aquela produzida sob certas condições específicas [7; 64; 67].	$T.C = \left(\frac{m_c}{m_s} \right) \cdot 100\% \quad (3.3)$ <p>T.C: Teor de cinzas (%); m_c: massa das cinzas (g); m_s: massa da amostra seco (g).</p>	<p>As cinzas são compostas por elementos como o Sódio e Potássio (álcalis), Magnésio e Cálcio (metais alcalino-terrosos), Silício (Si), Fósforo (P), Enxofre (S), Cloro (Cl), entre outros, como Alumínio (Al), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobalto (Co) e Zinco (Zn) [2; 68].</p>
	Poder calorífico	Quantidade de energia que é libertada por um material durante a combustão com ar [66].	Depende do método de determinação aplicado. Em alguns dos casos, é calculado a partir da análise elemental da biomassa [69].	<p>Poder Calorífico Superior (PCS) é a energia libertada pelo material somada com a energia necessária para vaporizar a água contida no material, assim como a água formada pela oxidação do hidrogénio [66].</p> <p>Poder Calorífico Inferior (PCI) representa a energia libertada pela biomassa na combustão, sendo medido quando a água é vaporizada e se encontra na fase de vapor. O PCI é medido antes do PCS e a diferença entre estes depende da humidade e do hidrogénio [2; 66].</p>

3.1.1 Determinação da massa volúmica

Foram utilizados três métodos para a determinação da massa volúmica:

- (a) O primeiro consistiu no corte dos ramos mais grossos de algumas espécies, da casca de Pinheiro bravo e os caules de Giesta e Canaveira numa forma regular, medindo com uma régua Vernier (craveira) a longitude de cada um dos lados da figura geométrica formada, através da equação do volume da respetiva figura formada, sendo posteriormente realizada a pesagem do troço de material.
- (b) O segundo método foi a colocação do objeto em água, que consistiu em submergir um troço de biomassa com forma irregular (que foi pesado previamente) numa proveta com água, sendo o valor do volume a diferença registada com a elevação do nível de água desde um ponto inicial até um ponto final. Como cada fragmento de biomassa é menos denso do que a água, este foi empurrado com um arame, para submersão total do material, sem que o arame ficasse também submerso no líquido.
- (c) O último método foi aplicado às folhas trituradas, adicionando uma certa quantidade de biomassa dentro de uma proveta, até chegar à medida de 5 ml, compactando bem a biomassa para eliminar o ar, sendo feita a seguir, a pesagem dessa quantidade.

A Figura 3.2 apresenta a régua Vernier empregada para a medição dos lados de cada troço de biomassa.



Figura 3.2. Régua Vernier

Com o primeiro método, foram determinadas as dimensões de algumas amostras (identificadas por forma de medição) através das formas seguintes:

- (a) **Forma de cilindro:** dentro desta categoria encontram-se os ramos da Criptoméria, do Choupo, do Eucalipto, do Pinheiro bravo, da Carqueja e da Acácia, assim como os caules da Giesta sendo a equação (3.4) relativa ao volume:

$$V_C = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h \quad (3.4)$$

V_C : Volume do cilindro (cm^3);

D : Diâmetro (cm);

h : altura (cm).

- (b) **Forma de cilindro oco:** com este tipo de geometria, encontram-se os caules da Canaveira, com a respetiva equação de volume, a qual é representada com a equação (3.5):

$$V_{C.O} = \frac{\pi \cdot h}{4} \cdot (D^2 - d^2) \quad (3.5)$$

$V_{C.O}$: Volume do cilindro oco (cm³);

D: Diâmetro externo (cm);

d: diâmetro interno (cm);

h: altura (cm).

(c) Forma de paralelepípedo: a casca do Pinheiro bravo foi a única a ser cortada desta forma, para obter uma medição mais simples. A equação do volume é representada pela equação (3.6):

$$V_R = C \cdot l \cdot h \quad (3.6)$$

V_R : Volume do paralelepípedo (cm³);

C: Comprimento (cm);

l: largura (cm);

h: altura (cm).

O segundo método foi aplicado somente às pinhas do Pinheiro bravo e aos frutos do Eucalipto. O terceiro método foi utilizado nas folhas trituradas das 10 espécies em questão.

3.1.2 Determinação do teor de humidade

O laboratório dispõe de uma balança de humidade que faz a medição direta em percentagem do teor de humidade do material que se encontra já triturado ou moído, sendo simples o seu funcionamento.

3.1.3 Determinação do teor de cinzas

As amostras já trituradas ou moídas, foram submetidas a 12 h de aquecimento dentro da mufla, desde a temperatura ambiente de 25°C até 550°C, para garantir que a biomassa não se queima com uma velocidade de aquecimento inferior e, por sua vez, para poder introduzir as amostras na mufla num dia e retirá-las no dia seguinte. Quando são cumpridas as 12 h de aquecimento, deixou-se as amostras na mufla durante 4 h, a uma temperatura constante de 550°C. Após este período, realizou-se uma primeira medição e, depois de as amostras permanecerem 30 min no exsiccador para arrefecimento até temperatura ambiente, procedeu-se à sua pesagem. Depois da primeira pesagem, colocou-se novamente as amostras na mufla por mais 4 h a 550°C, repetindo-se a pesagem das amostras tantas vezes, até que o peso não varie mais do que 10% do seu último valor (M.J. Carvalho, comunicação pessoal, abril 9, 2013). Em todos os casos estudados, foram necessárias duas pesagens, tendo-se em consideração uma precisão de ±5% [68].

3.1.4 Determinação do poder calorífico

Devido à falta de um calorímetro no Laboratório de Química Orgânica e Produtos Naturais da Universidade da Madeira, os valores do poder calorífico considerados para as espécies vegetais estudadas no projeto foram pesquisados em diversas fontes bibliográficas.

3.2 Caraterização do processo

Neste ponto, são apresentadas as especificações gerais do processo, bem como os dados de laboratório e os de engenharia necessários.

A engenharia do projeto depende do grau de precisão e de detalhe requerido e pode dividir-se em várias fases, de modo a sistematizar o processo e as opções técnicas e económicas a tomar. Neste contexto, as fases a seguir na engenharia do projeto, podem ser resumidas da seguinte forma:

- (a) **Engenharia conceptual:** define as características principais do projeto e a sua viabilidade técnica e económica. O objetivo principal é selecionar a alternativa técnica mais adequada, dimensionar o projeto, estabelecer as bases e alcances da engenharia e elaborar uma estimativa de custos preliminar. Este método deve fornecer, no mínimo, a seguinte informação: a descrição e localização das instalações, condicionantes do local, dados básicos do projeto, especificações de engenharia, normas e códigos aplicáveis e a seleção da tecnologia [70].
- (b) **Engenharia básica:** inclui a análise e cálculos detalhados e os seguintes elementos: bases de desenho, critérios de desenho, descrição do processo, diagramas de fluxo do processo, diagramas de tubagem e instrumentação, diagramas de serviços auxiliares, filosofia de controlo e proteção, lista dos componentes do processo, lista de tubagens, especificações de equipamentos e sistemas de processos, de instrumentos e de tubagem, avaliação ambiental, edificação e obras civis [70].
- (c) **Engenharia de detalhe:** é desenvolvida quando a engenharia básica demonstra que o projeto tem viabilidade. Determina-se as especificações completas de todos os componentes do processo e obtém-se uma estimativa dos custos. Entre as atividades mais importantes, destaca-se a atualização dos documentos de engenharia básica, elaboração do Manual de Operações, elaboração de isométricos e de diagramas do processo e seções, desenho de estruturas civis e edificações assim como os cálculos métricos [70].

Esta dissertação incide na fase de engenharia conceptual, conforme desenvolvido nos pontos seguintes.

3.2.1 Localização da instalação

Foram avaliadas diferentes zonas da Ilha da Madeira, com base nas caraterísticas de maior relevância para a implementação da instalação.

Para a seleção do local, foi necessário utilizar um método que permitisse determinar, de forma objetiva, a melhor alternativa, face aos requisitos do processo, através da ponderação de uma série de parâmetros, que são avaliados e estabelecidos com base no interesse do que realmente se pretende [71].

A seleção foi realizada através do Método de Decisão Múltiplo Binário (MDMB), que é utilizado como uma ferramenta na avaliação e seleção de alternativas. Este método reduz a subjetividade da análise, sendo os parâmetros comparados entre si. O método implica a geração de matrizes de avaliação, as

quais apresentam vários objetivos, no sentido de proporcionar ao processo de seleção a objetividade requerida, e a justificação de cada uma das opções propostas [71].

Para compreender a metodologia de avaliação, o MDMB é detalhado no Apêndice A.1.

3.2.2 Condições do local

Foram estudadas as condições do local da instalação, designadamente quanto ao ordenamento do território, consulta que foi realizada no *site* oficial do Município. A ocupação do solo e as condicionantes do ordenamento do território foram consultadas nas plantas do Plano Diretor Municipal (PDM).

Os dados populacionais de cada concelho da Ilha da Madeira, incluindo a população residente, a superfície de cada concelho e a densidade populacional, foram já apresentados na Tabela 2.1, no Capítulo 2.

3.2.3 Capacidade da instalação

Devido à incerteza das necessidades do mercado dos produtos da biomassa, o qual carece de estudos mais aprofundados, foram definidas três capacidades de produção diária, às quais estão associados três níveis de investimento, a ter em conta na tomada de decisão.

3.2.4 Características e condições da matéria-prima

Para reduzir o número de espécies e resíduos a considerar no processo de produção dos combustíveis sólidos, foi efetuada uma pré-seleção (por folhas, ramos, caules, entre outros) numa tabela, que foi caracterizada com parâmetros de avaliação, considerando para tal, os resultados obtidos no laboratório.

Com parte das espécies já selecionadas, foi novamente realizada uma seleção destas, mas através do MDMB, para assim escolher as espécies a utilizar na produção. O material descartado é considerado como combustível para o secador.

Para cada espécie selecionada, foi estabelecido um valor para a fração mássica, com base nos resultados obtidos no MDMB, uma vez que estes permitem ter uma ordem de importância de cada espécie, tendo também em consideração a informação obtida dos fornecedores das tecnologias e de produtores contactados.

3.2.5 Especificações do produto final

Pela inexistência de uma metodologia de cálculo (tanto em normativas como na literatura) que permita determinar os valores exatos das propriedades físico-químicas dos produtos, foi aplicada uma equação que permite determinar o valor da massa volúmica, do teor de humidade, do teor de cinzas e do poder calorífico superior do produto adquirido através de uma mistura de vários componentes, considerando para tal, a fração mássica da matéria-prima. Este método permite ter uma estimativa, dos valores potenciais tentativos que podem ser obtidos.

3.2.6 Condições de armazenamento

Foram analisadas várias soluções para o armazenamento da matéria-prima, recorrendo a bibliografia relacionada com processos de produção de combustíveis sólidos de biomassa e com atividades florestais, tendo sido consideradas também algumas indicações efetuadas pela AREAM.

No caso dos produtos, foi realizada uma pesquisa nas páginas *web* das empresas que fornecem combustíveis sólidos, onde foram identificadas as formas mais comuns de armazenamento de combustíveis de biomassa para venda existentes no mercado.

3.2.7 Normas de qualidade

Foram consultadas várias normativas europeias, das quais se destaca: as ÖNORM da Áustria, as DIN da Alemanha e as CEN/TC do Comité Europeu de Normalização. Foram analisadas as normas mais comuns, considerando os vários tipos de combustível sólido e as características físico-químicas que estes devem possuir. Contudo, só foram apresentados os dados da norma selecionada, a qual abrange a estilha, os *pellets* e os briquetes, e fornece uma ampla gama de requisitos para garantir as características e a qualidade dos produtos.

3.2.8 Seleção das tecnologias

Para a seleção das componentes relevantes do processo, foram consultadas e mantida a comunicação com várias empresas nacionais e internacionais, para recolha de informação sobre as tecnologias, tendo sido construída uma base de dados que contém a informação mais relevante da empresa, produtos e contactos.

Depois de ter toda a informação necessária, foi realizado um estudo comparativo das diferentes opções propostas pelas empresas contactadas, de acordo com os parâmetros técnicos e económicos mais relevantes. Para isso, foi aplicado o MDMB, para avaliar as tecnologias que melhor se adaptam ao pretendido, relativamente às três etapas essenciais do processo: a trituração, o processo de *pellets* e a produção de briquetes.

3.2.9 Descrição do processo

Com base na informação apresentada pelas empresas consultadas e nas tecnologias selecionadas, foram estabelecidas as etapas e componentes do processo de produção, incluindo as condições e os equipamentos requeridos, desde a entrada da matéria-prima, até a saída do produto final. Desta forma, pode-se detalhar o processo e o produto obtido em cada etapa.

3.2.10 Diagramas de processo

Para representar de forma gráfica as etapas e componentes do processo, foi necessário desenvolver os seguintes esquemas:

- (a) Um diagrama de blocos de processo (DBP), no qual foi representado, de forma simplificada, as etapas do processo através de blocos contínuos, como se mostra na Figura 3.3.



Figura 3.3. Exemplo de um DBP

- (b) Um diagrama de fluxo de processo (DFP), no qual se representou cada um dos componentes considerados no processo, desde a entrada da matéria-prima até a saída do produto, sendo também indicados os efluentes (líquidos, gasosos ou sólidos) emitidos.

3.2.11 Estudo económico

Uma vez desenvolvido o projeto do ponto de vista técnico, foi efetuada uma análise económica, considerando os investimentos, os custos de funcionamento e as receitas, para determinar a viabilidade económica do projeto e o período de retorno do investimento.

Foi efetuada uma seleção de alternativas, através de um processo de tomada de decisões, com os seguintes passos:

- (a) Compreender o problema e os objetivos que se desejam alcançar.
- (b) Reunir a informação relevante.
- (c) Definir as soluções de cada uma das alternativas.
- (d) Avaliar cada alternativa [72].

Foi realizado um estudo dos custos com base em valores atuais, entre os quais se encontra o preço dos equipamentos. No entanto, para outros fatores, foram aplicadas extrapolações para as capacidades consideradas, a partir da informação disponível. A análise económica foi realizada para um período de 10 anos.

Foi efetuado o cálculo do fluxo de caixa, considerando o investimento inicial, os custos de operação durante o período de análise e as receitas da venda dos produtos.

Os custos do investimento inicial considerados foram os seguintes:

- (a) Estudos.
- (b) Aquisição e instalação de equipamentos.
- (c) Maquinaria para transporte, carga e descarga.
- (d) Construção civil.
- (e) Outros gastos não especificados.
- (f) Patentes, alvarás e royalties.
- (g) Projetos, fiscalização e coordenação.
- (h) Licenças, registos e taxas.
- (i) Custo alfandegário, transporte e impostos.
- (j) Viagem, manutenção e alojamento dos técnicos [73].

Os custos de operação considerados foram os seguintes:

- (a) Despesas com o pessoal, considerando as remunerações, impostos, encargos sociais e seguros de trabalho.
- (b) Serviços de apoio necessários à operação.
- (c) Renda do terreno.
- (d) Seguro da instalação.
- (e) Manutenção dos equipamentos e outros custos [73].

Para cada um dos parâmetros apresentados, detalha-se a metodologia utilizada no Apêndice A.2.

O cálculo do fluxo de caixa foi efetuado da seguinte forma:

- (a) Fluxo de caixa:** é a diferença entre o valor do total das receitas e o total das despesas por ano, de acordo com a equação (3.7).

$$FC_{i+1} = R_{i+1} - C_{i+1} \quad (3.7)$$

FC_{i+1} : Fluxo de caixa no ano $i+1$, (€);

R_{i+1} : Total das receitas no ano $i+1$, (€);

C_{i+1} : Total dos custos no ano $i+1$, (€) [74].

- (b) Fluxo de caixa acumulado:** é o valor da soma dos fluxos de caixa ao longo dos anos, de acordo com a equação (3.8).

$$FCA_{i+1} = FC_{i+1} + FCA_i \quad (3.8)$$

FCA_{i+1} : Fluxo de caixa acumulado do ano $i+1$, (€);

FCA_i : Fluxo de caixa acumulado do ano i , (€);

FC_{i+1} : Fluxo de caixa no ano $i+1$, (€).

Com $i = 0$, obtém-se a equação (3.9).

$$FCA_1 = FC_1 + FCA_0 \quad (3.9) [74]$$

O ano em que o valor do fluxo de caixa acumulado se torna positivo corresponde ao ano em que ocorre o retorno do investimento realizado.

Também foi determinada a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), que permite determinar a remuneração do investimento e a sua comparação com as taxas de juro [74].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização físico-química das amostras

Com base no procedimento experimental apresentado anteriormente, os resultados obtidos para a massa volúmica, teor de humidade e teor de cinzas das partes mais duras (ramos grossos e finos), os caules, das pinhas, dos frutos e da casca encontram-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Massa volúmica, teor de humidade e de cinzas de diferentes espécies

Espécie	ρ (kg/m ³) (Teor de humidade em %)	Teor de humidade (%)	Teor de cinzas (%)
Giesta (caules)	592,21 ± 38,06 (8,16%)	9,76 ± 0,05	1,02 ± 0,00
Canavieira (caules)	762,04 ± 57,01 (17,51%)	9,93 ± 0,45	3,84 ± 0,09
Criptoméria (ramos)	558,38 ± 27,70 (13,50%)	11,97 ± 0,06	2,75 ± 0,02
Carqueja (ramos)	713,52 ± 23,49 (7,81%)	8,94 ± 0,03	1,76 ± 0,04
Acácia (ramos)	811,62 ± 26,38 (24,88%)	9,24 ± 0,25	2,22 ± 0,03
Eucalipto (ramos)	776,62 ± 48,85 (9,66%)	9,99 ± 0,33	5,18 ± 0,09
Eucalipto (frutos)	886,41 ± 43,78 (9,91%)	13,48 ± 0,12	4,28 ± 0,06
Pinheiro bravo (ramos)	537,62 ± 20,74 (9,82%)	10,40 ± 0,22	2,81 ± 0,19
Pinheiro bravo (pinhas)	465,69 ± 13,61 (9,01%)	12,37 ± 0,08	0,47 ± 0,05
Pinheiro bravo (casca)	350,28 ± 11,89 (10,47%)	11,48 ± 0,08	1,20 ± 0,10
Choupo (ramos)	602,09 ± 38,70 (9,67%)	10,41 ± 0,08	2,70 ± 0,14

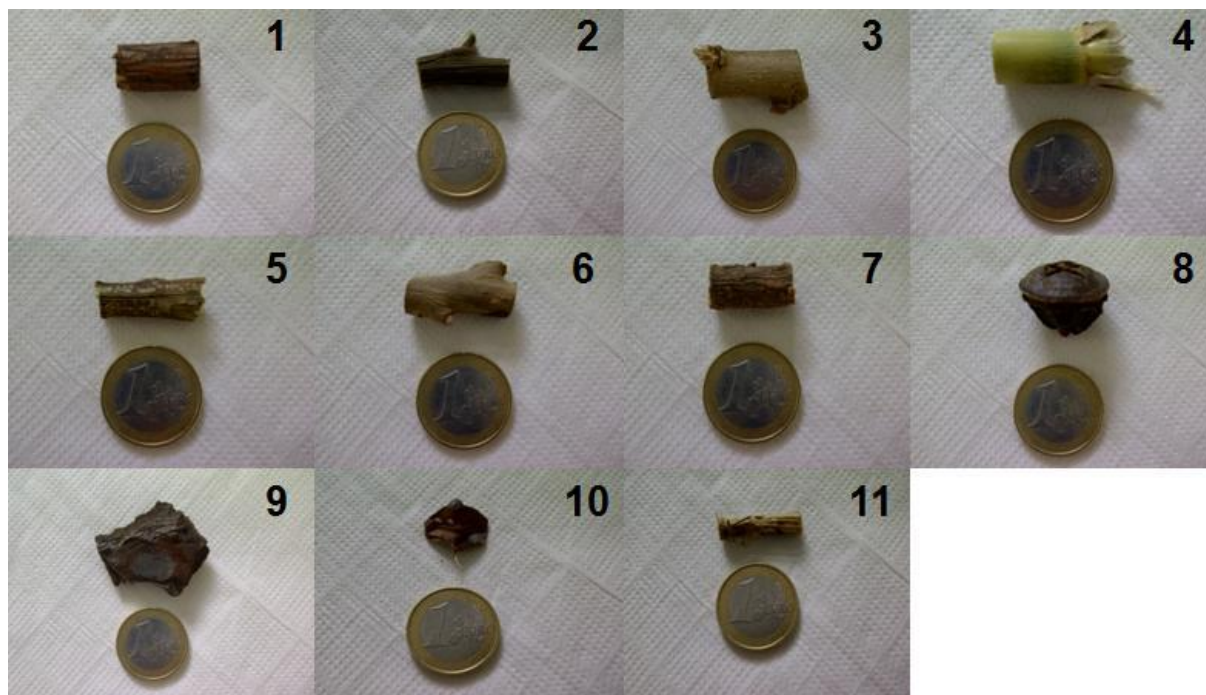
Na Tabela 4.2, encontram-se os valores da massa volúmica, do teor de humidade e das cinzas obtidos para as folhas trituradas de todas as espécies estudadas. No caso da Feiteira e do Silvado, foram adicionados ramos às folhas, devido à reduzida dimensão da amostra.

Tabela 4.2. Massa volúmica, teor de humidade e de cinzas de folhas de diferentes espécies

Espécie	ρ (kg/m ³)	T. Humidade (%)	T. Cinzas (%)
Giesta	276,89 ± 1,39	8,55 ± 0,36	2,48 ± 0,08
Canavieira	234,07 ± 3,51	8,41 ± 0,18	11,67 ± 0,48
Feiteira	245,07 ± 4,30	11,11 ± 0,21	4,12 ± 0,15
Criptoméria	224,57 ± 6,82	10,32 ± 0,14	7,08 ± 0,15
Carqueja	246,07 ± 4,91	9,38 ± 0,05	3,01 ± 0,10
Silvado	374,89 ± 3,59	9,65 ± 0,34	5,52 ± 0,24
Acácia	395,07 ± 8,18	8,61 ± 0,26	3,53 ± 0,09
Eucalipto	408,91 ± 6,65	8,99 ± 0,22	5,54 ± 0,10
Pinheiro bravo	234,85 ± 4,44	10,65 ± 0,24	2,82 ± 0,16
Choupo	274,81 ± 4,96	9,63 ± 0,11	11,70 ± 0,16

4.1.1 Massa volúmica

A Figura 4.1 representa o tamanho de cada amostra utilizada para a determinação da massa volúmica. Devido à irregularidade das amostras, foi necessário proceder a uma regularização, feita com uma lima sobre as partes mais salientes até aperfeiçoar as partes constitutivas da amostra com exceção do fruto do Eucalipto e da pinha do Pinheiro bravo.

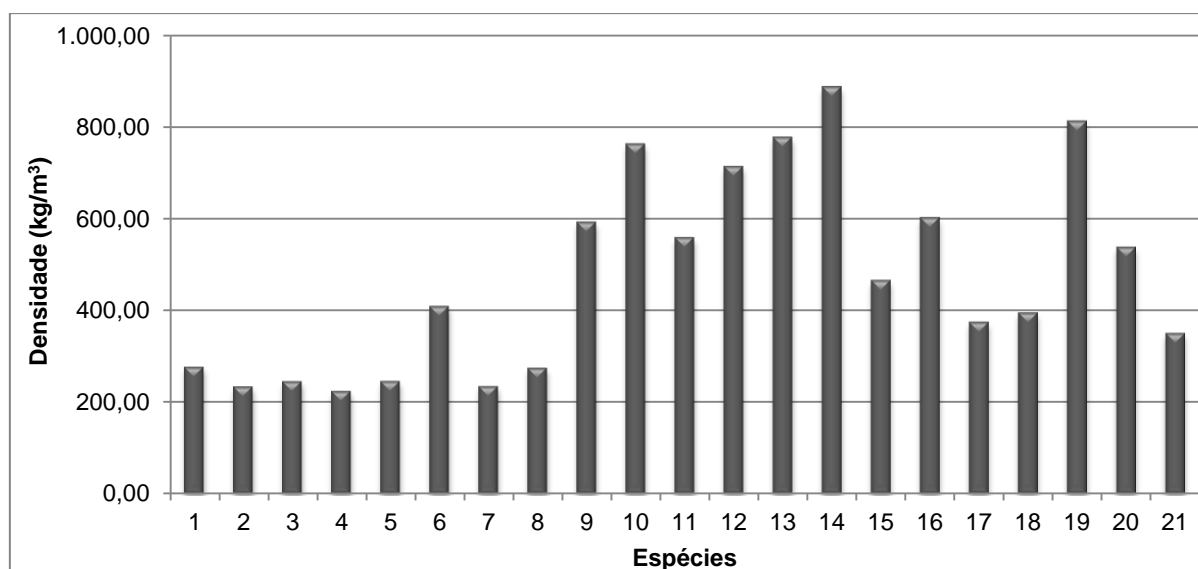


1 Criptoméria; 2 Acácia; 3 Choupo; 4 Canavieira; 5 Giesta; 6 Eucalipto; 7 Pinheiro bravo; 8 Eucalipto (frutos); 9 Pinheiro bravo (casca); 10 Pinheiro bravo (pinhas); 11 Carqueja.

Figura 4.1. Troços dos ramos, caules, casca, frutos e pinhas utilizados

Os valores da massa volúmica foram medidos com a massa da amostra húmida, sendo também determinado o teor de humidade. A balança do teor de humidade utilizada para este estudo apresenta os resultados com duas casas decimais, daí a que os valores sejam apresentados desse modo. Por sua vez, o desvio padrão da massa volúmica para as partes mais duras é maior do que aqueles apresentados nos restantes casos, podendo ser justificado pela precisão de medição.

Para se poder efetuar uma análise mais detalhada e comparar as características das espécies em estudo, apresenta-se os resultados da massa volúmica para todas as espécies na Figura 4.2.



1 Giesta (folhas); 2 Canaveira (folhas); 3 Feiteira; 4 Criptoméria (folhas); 5 Carqueja (folhas); 6 Eucalipto (folhas); 7 Pinheiro bravo (folhas); 8 Choupo (folhas); 9 Giesta (caules); 10 Canaveira (caules); 11 Criptoméria (ramos); 12 Carqueja (ramos); 13 Eucalipto (ramos); 14 Eucalipto (frutos); 15 Pinheiro bravo (pinhas); 16 Choupo (ramos); 17 Silvado; 18 Acácia (folhas); 19 Acácia (ramos); 20 Pinheiro bravo (ramos); 21 Pinheiro bravo (casca).

Figura 4.2. Massa volúmica para cada amostra

Todas as espécies apresentam uma massa volúmica inferior a 1000 kg/m^3 , ou seja, inferior à massa volúmica da água. Na análise dos resultados obtidos, pode-se afirmar que, no caso das espécies estudadas, os ramos do Choupo ($602,09 \text{ kg/m}^3$), do Eucalipto ($776,62 \text{ kg/m}^3$), da Carqueja ($713,52 \text{ kg/m}^3$), da Acácia ($811,62 \text{ kg/m}^3$) assim como os frutos de Eucalipto ($886,41 \text{ kg/m}^3$) e os caules da Canaveira ($762,04 \text{ kg/m}^3$), em média, são os que mais se aproximam à massa volúmica da água, apresentando um valor superior a 600 kg/m^3 . A massa volúmica dos ramos das restantes espécies analisadas encontram-se entre 300 e 600 kg/m^3 e só as folhas de todas as espécies estão entre 200 e 400 kg/m^3 . Isto pode ser explicado pela morfologia das partes analisadas, que têm maior teor de água, sendo menor a compactação das ligações internas de cada um dos seus componentes. Os valores da massa volúmica também dependem das condições de recolha das amostras e da zona de crescimento, do tipo e da composição da espécie, assim como da quantidade de água contida na biomassa [66].

É necessário conhecer a massa volúmica das espécies para efeitos de manuseamento, transporte e armazenamento. Quando a biomassa apresenta uma baixa massa volúmica, maior é o volume ocupado, portanto, maior deve ser o espaço de armazenamento, o que afeta os custos. Com base neste critério, pode-se afirmar que a biomassa que apresenta uma massa volúmica média menor do que 500 kg/m^3 , não tem viabilidade para o projeto, sendo na sua maioria as folhas. Estes materiais podem no entanto ser utilizados no processo de secagem da biomassa.

A Tabela 4.3 apresenta as massas volúmicas pesquisadas em duas bases de dados “ECN Phyllis 2” e “BIOBIB-search for all fuels” (10 de junho de 2013), em vários artigos publicados no site “Science Direct” (14 de junho de 2013) e noutras fontes bibliográficas, e os valores da massa

volúmica determinados em laboratório. Conforme referido anteriormente, são apresentados os valores das massas volúmicas associados aos respetivos teores de humidade, entre parêntesis.

Tabela 4.3. Massa volúmica e respetivo teor de humidade das espécies em estudo

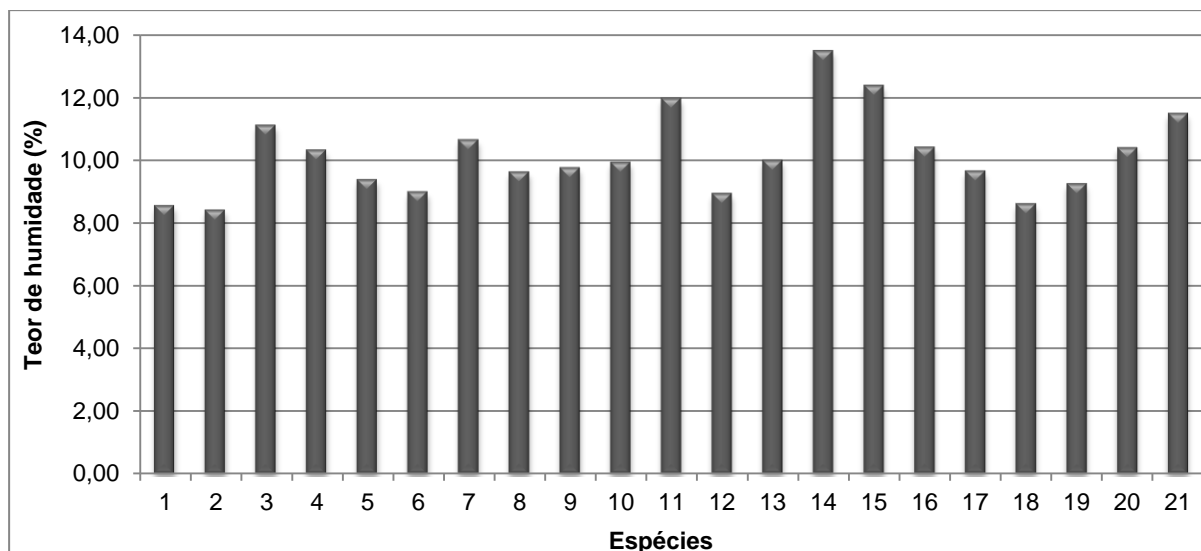
Espécie	Massa volúmica da pesquisa bibliográfica (kg/m³)	Massa volúmica no laboratório (kg/m³)
Giesta (caules)	860 (66,68%) [75]	592,21 (8,16%)
Canavieira (caules)	116 ^a [76]	762,04 (17,51%)
Feiteira	700 (72,53%) [75]	245,07 (11,11%)
Criptoméria (ramos)	980 (46,37%) [77]	558,38 (13,50%)
Carqueja (ramos)	418 ^a [69]	713,52 (7,81%)
Silvado	-	374,89 (9,65%)
Acácia (ramos)	700 – 850 ^a [78]	811,62 (24,88%)
Eucalipto (ramos)	742 (12%) [3]	776,62 (9,66%)
Pinheiro bravo (ramos)	530 (12%) [3]	537,62 (9,82%)
Choupo (ramos)	-	602,09 (9,67%)

^a Não apresentam o teor de humidade em que foi medida a massa volúmica.

4.1.2 Teor de humidade

No estudo da biomassa para fins energéticos, o teor de humidade é um parâmetro de grande relevância, porque afeta o poder calorífico. No caso da biomassa lenhosa, o teor de humidade geralmente situa-se entre 25% e 65% [66] e no caso dos resíduos florestais é geralmente superior a 50%, logo após o corte [65].

A Figura 4.3 permite a comparação dos valores obtidos do teor de humidade das espécies estudadas.



1 Giesta (folhas); 2 Canaveira (folhas); 3 Feiteira; 4 Criptoméria (folhas); 5 Carqueja (folhas); 6 Eucalipto (folhas); 7 Pinheiro bravo (folhas); 8 Choupo (folhas); 9 Giesta (caules); 10 Canaveira (caules); 11 Criptoméria (ramos); 12 Carqueja (ramos); 13 Eucalipto (ramos); 14 Eucalipto (frutos); 15 Pinheiro bravo (pinhas); 16 Choupo (ramos); 17 Silvado; 18 Acácia (folhas); 19 Acácia (ramos); 20 Pinheiro bravo (ramos); 21 Pinheiro bravo (casca).

Figura 4.3. Teor de humidade obtido para cada amostra

Na Figura 4.3 verifica-se que o teor de humidade varia entre 8% e 14%. Os valores superiores a 12% correspondem aos frutos do Eucalipto e às pinhas do Pinheiro bravo, constatando-se que as pinhas e frutos podem reter maior quantidade de água do que as restantes partes da espécie. As amostras com teor de humidade entre 10% e 12% são as folhas da Feiteira, da Criptoméria e do Pinheiro bravo, bem como os ramos da Criptoméria, do Choupo e do Pinheiro bravo (incluindo a casca). As restantes amostras apresentam valores de teor de humidade entre 8% e 10%. Com isto, pode-se afirmar que a Feiteira, a Criptoméria e o Pinheiro bravo, são as espécies que apresentam maior teor de humidade. O Pinheiro bravo, o Choupo, a Criptoméria, a Acácia e o Eucalipto, apesar de apresentarem um teor de humidade entre 9% e 12% nas partes mais duras, consideram-se espécies importantes para a produção de combustíveis sólidos.

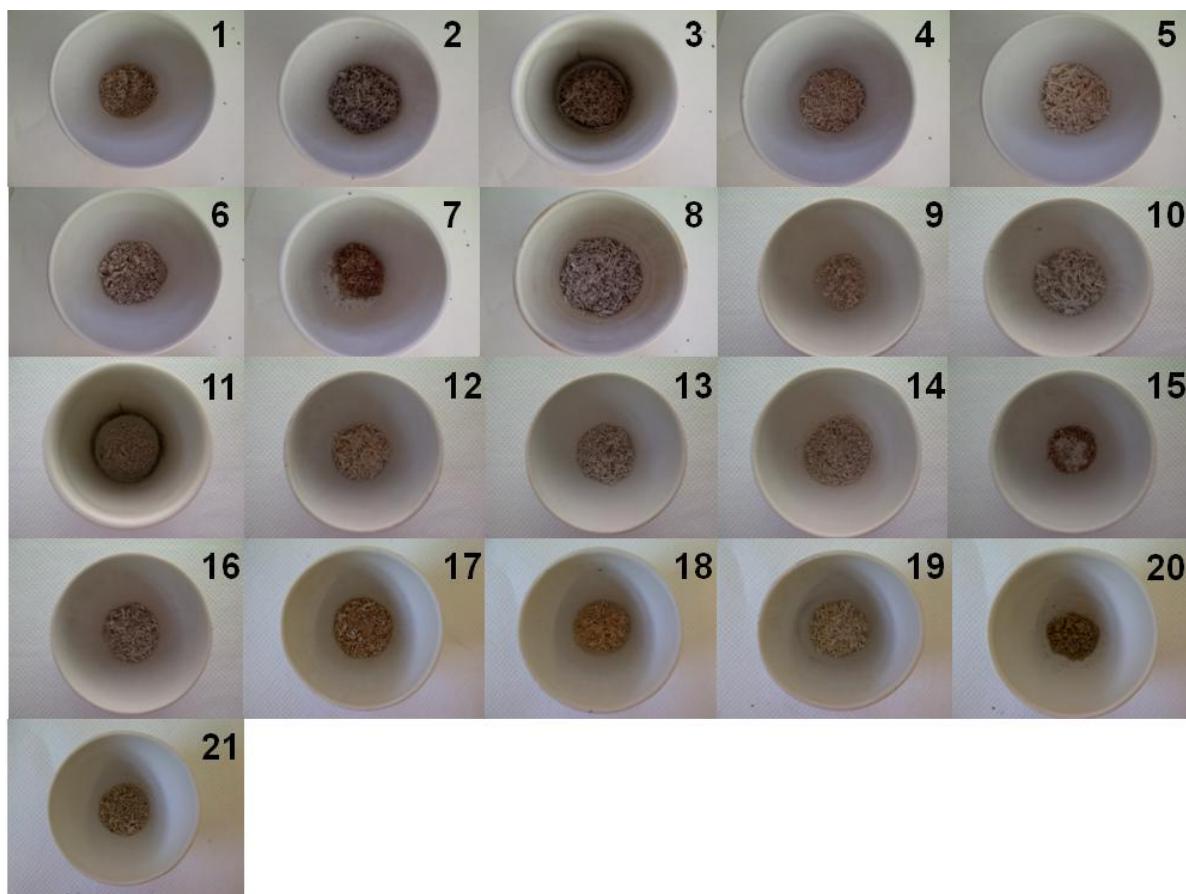
O teor de humidade da biomassa depende da parte da espécie a considerar, da técnica de colheita, das condições climáticas (incluindo a humidade do ar), da época ou altura do ano na qual é feita a colheita e do método de armazenamento utilizado [66].

4.1.3 Teor de cinzas

A biomassa usada para determinar o teor de humidade foi a mesma utilizada para determinar o teor de cinzas para não desperdiçar amostras e também porque é necessária a medição com o peso seco da amostra, garantindo-se as 2 g mínimas de amostra, como foi explicado no procedimento experimental (ponto 3.1.3).

Com base na Tabela 4.2, as folhas da Canaveira apresentam o maior desvio padrão, sendo o seu valor de 0,48%, garantindo-se, desta forma, que o teor de cinzas obtido apresenta uma boa precisão.

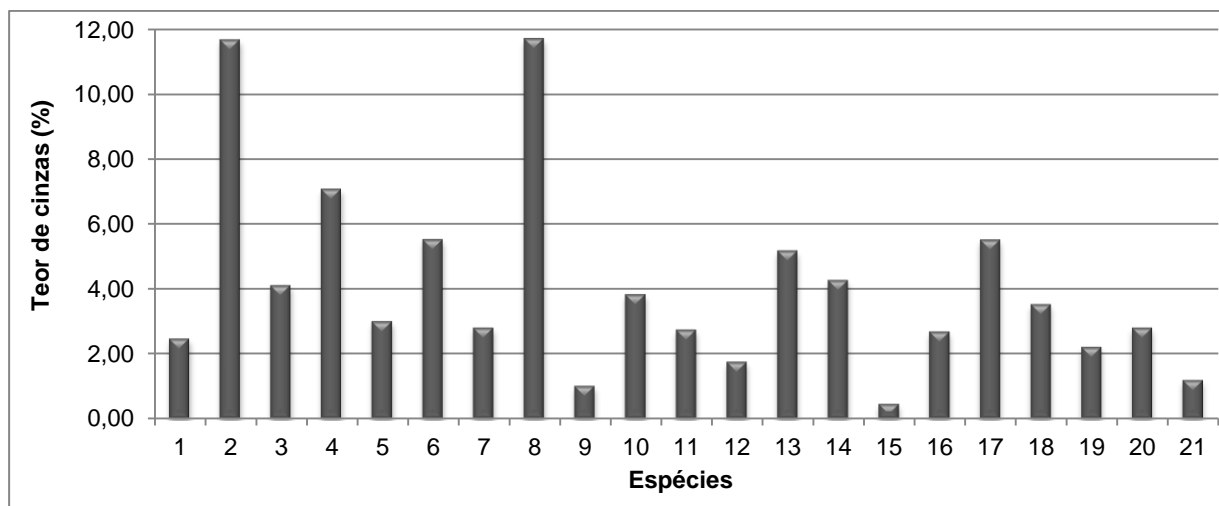
Na Figura 4.4, são mostradas as cinzas obtidas em cada uma das medições realizadas.



1 Giesta (folhas); 2 Canaveira (folhas); 3 Feiteira; 4 Criptoméria (folhas); 5 Carqueja (folhas);
6 Eucalipto (folhas); 7 Pinheiro bravo (folhas); 8 Choupo (folhas); 9 Giesta (caules); 10 Canaveira (caules);
11 Criptoméria (ramos); 12 Carqueja (ramos); 13 Eucalipto (ramos); 14 Eucalipto (frutos);
15 Pinheiro bravo (pinhas); 16 Choupo (ramos); 17 Silvado; 18 Acácia (folhas); 19 Acácia (ramos);
20 Pinheiro bravo (ramos); 21 Pinheiro bravo (casca).

Figura 4.4. Cinzas obtidas para as diferentes amostras

A Figura 4.5 permite uma comparação mais simples entre o teor de cinzas para cada espécie.



1 Giesta (folhas); 2 Canaveira (folhas); 3 Feiteira; 4 Criptoméria (folhas); 5 Carqueja (folhas);
6 Eucalipto (folhas); 7 Pinheiro bravo (folhas); 8 Choupo (folhas); 9 Giesta (caules); 10 Canaveira (caules);
11 Criptoméria (ramos); 12 Carqueja (ramos); 13 Eucalipto (ramos); 14 Eucalipto (frutos);
15 Pinheiro bravo (pinhas); 16 Choupo (ramos); 17 Silvado; 18 Acácia (folhas); 19 Acácia (ramos);
20 Pinheiro bravo (ramos); 21 Pinheiro bravo (casca).

Figura 4.5. Teor de cinzas para cada amostra

Analisando a Figura 4.5, pode-se verificar que os teores de cinzas situam-se abaixo de 12%. As folhas de Canaveira e de Choupo apresentam teores de cinzas elevados, o que é um fator a ter em conta na escolha da biomassa. As folhas, de um modo geral, apresentam valores mais elevados do que nos ramos e caules. O Eucalipto é uma das espécies mais críticas porque apresenta valores de teor de cinzas superiores a 5% nas partes mais duras, ao contrário do Choupo, da Giesta, da Carqueja, da Criptoméria, da Acácia e de todas as partes constitutivas do Pinheiro bravo, que podem ser consideradas espécies ótimas para a produção de combustíveis sólidos, com base no teor de cinzas. Contudo, há estudos que não aconselham a utilização da casca, apesar do conteúdo de cinzas ser menor do que nas folhas [64], porque as cascas podem causar problemas de aglutinação nas caldeiras [2].

A Tabela 4.4 apresenta os teores de humidade pesquisados nas duas bases de dados consultadas “ECN Phyllis 2” e “BIOBIB-search for all fuels” (10 de junho de 2013) e em vários *papers* no *site* de “Science Direct” (14 de junho de 2013).

Tabela 4.4. Teor de cinzas das espécies em estudo

Espécie	Teor de cinzas da pesquisa bibliográfica (%)	Teor de cinzas no laboratório (%)
Giesta (caules)	0,77 [75]	1,02
Canaveira (caules)	3,7 [76]	3,84
Feiteira	2,74 [75]	4,12
Criptoméria (ramos)	1,64 [77]	2,75
Carqueja (ramos)	1,47 [69]	1,76
Silvado	-	5,52
Acácia (ramos)	1,5 [78]	2,22
Eucalipto (ramos)	2,58 [75]	5,18
Pinheiro bravo (ramos)	1,04 [75]	2,81
Pinheiro bravo (pinhas)	0,80 [79]	0,47
Pinheiro bravo (casca)	2,90 [79]	1,20
Choupo (ramos)	4,60 [80]	2,70

Os valores expostos em branco apresentam uma diferença não superior a 0,5%, sendo superior os obtidos em laboratório. Os apresentados em cinzento têm uma diferença superior a 0,5%, sendo igualmente mais altos, aqueles obtidos neste estudo. Os dados em preto são maiores do que os valores do laboratório. A diferença entre alguns destes valores pode dever-se ao facto de que as espécies se desenvolveram em diferentes condições, nomeadamente o tipo de solo, a fertilização [68] e o procedimento de colheita aplicado.

É importante o estudo do teor de cinzas, porque valores muito baixos de cinzas aumentam a exposição a temperaturas mais elevadas (possível fusão das cinzas), requerendo grelhas na

combustão mais resistentes e, no caso oposto, são requeridos maiores caudais de alimentação do ar primário, sendo maiores os custos de operação [66].

4.1.4 Poder calorífico

A Tabela 4.5 apresenta o poder calorífico das espécies estudadas, cujas fontes são as mesmas bases de dados e *websites* mencionadas no ponto anterior. Durante a consulta e para uma mesma espécie, foram encontrados vários valores, procedendo-se a uma seleção dos valores onde a espécie caracterizada pertence a uma zona com condições climáticas semelhantes à Ilha da Madeira, já que o poder calorífico depende da área de proveniência.

Tabela 4.5. Poder calorífico das espécies em estudo

Espécie	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)	Teor de humidade (verde) (%)
Giesta (caules) [75]	20.534	3.666	66,68
Canavieira (caules) [76]	18.060	16.750	-
Feiteira [75]	18.639	1.167	72,53
Criptoméria (ramos) [77]	22.170	-	46,37
Carqueja (ramos) [69]	21.872	8.702	49,6
Silvado	-	-	-
Acácia (ramos)¹ [78]	14.653 - 16.747	-	-
Eucalipto (ramos) [81]	19.622	-	56,72
Pinheiro bravo (ramos) [81]	20.443	-	56,3
Pinheiro bravo (pinhas) [79]	21.034	-	-
Pinheiro bravo (casca) [79]	20.431	19.165	-
Choupo (ramos) [82]	18.650	-	-

¹ Na Austrália o PCS pode atingir valores de 19.259 kJ/kg.

Como mencionado no ponto 4.1.2 quanto menor o teor de humidade, maior será o poder calorífico. Ainda na Tabela 4.5 foram assinalados os valores do teor de humidade da biomassa verde ou acabada de cortar, para algumas das espécies, verificando-se a veracidade desta teoria principalmente na Feiteira, que tem elevada humidade e consequente baixo poder calorífico, ao contrário da Criptoméria, da Carqueja, do Eucalipto e do Pinheiro bravo, que apresentam um baixo teor de humidade e um alto poder calorífico.

De acordo com estudos já realizados nas partes constitutivas das espécies, pode-se afirmar que a casca apresenta um alto poder calorífico, pela presença de um alto teor de extrativos e de lenhina, componentes que apresentam um maior poder calorífico do que a celulose. Verifica-se também que as pinhas do Pinheiro bravo têm um poder calorífico maior do que a casca. Uma desvantagem da casca é que aumenta a emissão de contaminantes como o NO_x, CO e SO₂, já que contém mais azoto e enxofre do que as partes mais duras [83].

A Criotoméria é a espécie que apresenta o maior poder calorífico e a Acácia o menor, desconhecendo-se o poder calorífico do Silvado.

Como existem empresas na Ilha da Madeira que podem fornecer resíduos de madeira para aproveitamento energético, na Tabela 4.6 são apresentados os valores do teor de cinzas e do poder calorífico encontrados na base de dados “*BIOBIB-search for all fuels*”, incluindo outros materiais.

Tabela 4.6. Propriedades de alguns resíduos e outros materiais [76]

Resíduos	Tipos	Teor de cinzas (%)	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)
Resíduos de madeira industriais de 1ª e 2ª transformação	De demolição	0,58	20.186	17.635
	De móveis ¹	-	19.626	-
	Laminada	1,51	19.521	-
	Mistos	1,4	17.600	16.000
	Compensada	1,5	21.370	-
	Não contaminada	1,48	-	-
	Com colas	0,9	18.000	16.500
	Tratadas	2,41	20.621	-
	Troncos	-	19.600	18.500
	Serradura de madeira	0,5	20.510	18.000
Resíduos diretos de operações florestais	Madeira	0,3	20.478	-
	Casca de madeira	1,6	20.500	-
	Aparas (<i>chips</i>) de madeira	1,43	20.263	19.152
	Madeira floresta (<i>chips</i> mais casca)	2,13	18.537	17.211
	Lascas de madeira florestal (árvore inteira)	0,87	20.771	19.661
	Aparas de madeira dura	0,78	19.526	-
Outros materiais	<i>Pellets</i> de serradura de madeira	1	20.510	-
	Briquetes de madeira	0,4	20.174	18.816
	Briquetes e <i>pellets</i> de madeira comprimida	0,5	-	18.000

¹ Pode conter contaminantes como vernizes, tintas, entre outros.

4.2 Caraterização do processo

4.2.1 Localização da instalação

Existem onze parques empresariais na Ilha da Madeira, abrangendo vários concelhos, com exceção do Funchal, havendo dois em Câmara de Lobos e dois em Santa Cruz [84]. A seleção foi feita por concelhos, com base numa pré-seleção por regiões na ilha, de acordo com as condições dos parques e proximidade das áreas com maior disponibilidade de biomassa e das áreas de consumo:

- (a) **Região Norte:** foi escolhido o Parque Empresarial de São Vicente.
- (b) **Região Sudeste:** foi escolhido o Parque Empresarial da Camacha.
- (c) **Região Sudoeste:** foram escolhidos o Parque Empresarial da Calheta e Parque Empresarial da Ribeira Brava.

Os parques empresariais da Ilha da Madeira encontram-se localizados na Figura 4.6.



Figura 4.6. Parques Empresariais da Ilha da Madeira [84]

Os parâmetros estudados para a seleção do concelho e do parque empresarial são os seguintes:

- (a) **Acessibilidade:** deve apresentar várias alternativas de acesso a redes viárias. Foi utilizada a Figura 2.9.
- (b) **Superfície florestal do Pinheiro bravo e do Eucalipto:** deve ser elevada, para garantir a sua disponibilidade dentro do concelho. Foram utilizados os dados da Tabela 2.6, a qual apresenta unicamente os valores específicos para as espécies de Pinheiro bravo e Eucalipto.
- (c) **Área dos parques empresariais:** deve apresentar lotes disponíveis com condições adequadas e encontrar-se próximo de zonas florestais. A Tabela 4.7 disponibiliza os dados utilizados na tomada de decisão.

Tabela 4.7. Características dos Parques Empresariais de interesse [84]

Parque empresarial	Área total (m ²)	N.º de lotes de terreno	Área mínima do lote (m ²)	Área máxima do lote (m ²)
São Vicente	47.505	42	285	1.559
Calheta	87.309	57	240	1.542
Ribeira Brava	65.949	44	335	1.028
Camacha	52.654	20	207	1.700

(d) **Condições climáticas:** dependem da localização geográfica, diferenciando-se as costas Norte e Sul da ilha, sendo aconselhável temperaturas médias mais elevadas e baixa precipitação. Foram utilizados os mapas apresentados na Figura 2.5 e na Figura 2.7.

(e) **População ativa:** pretende-se estimar a disponibilidade de mão-de-obra. Foram utilizados os dados da Tabela 2.1.

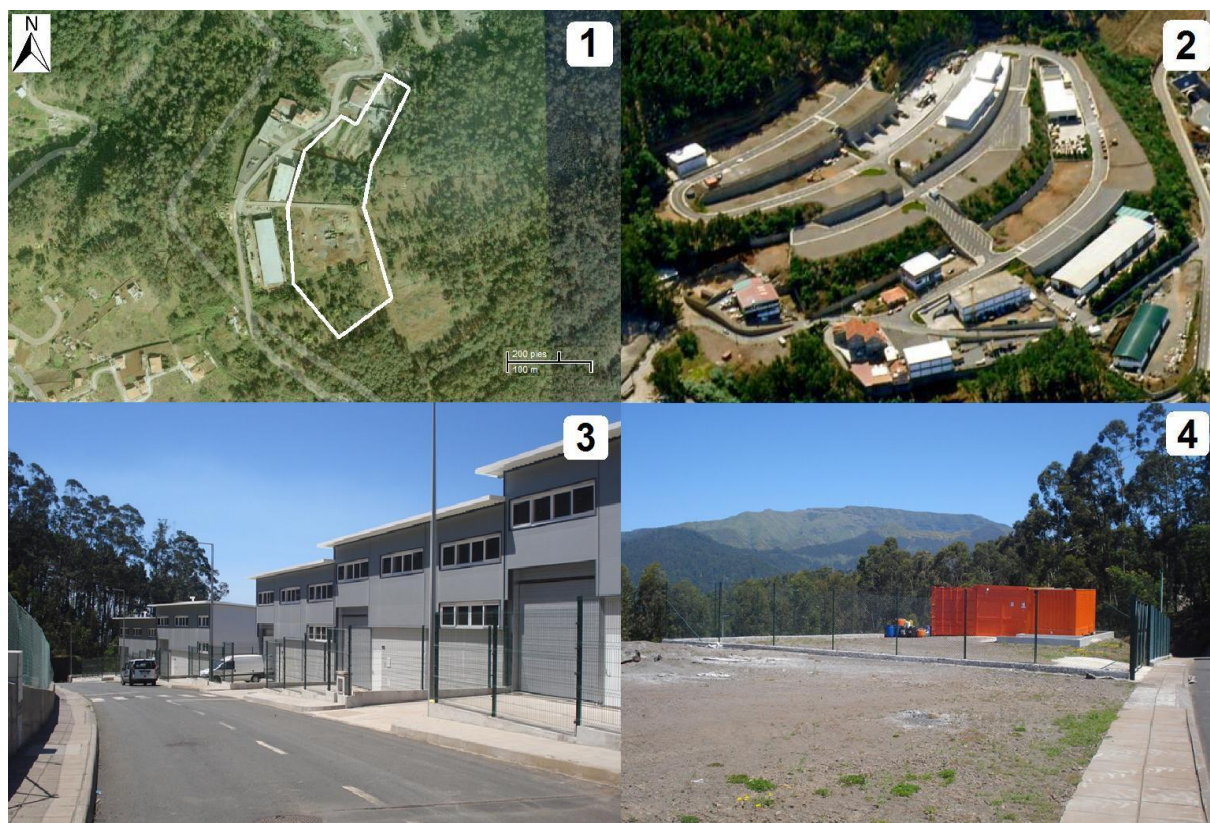
A Tabela 4.8 apresenta a matriz resultante do processo de seleção do concelho para localizar a instalação.

Tabela 4.8. Matriz de seleção da localização

Parâmetros	Peso (%)	São Vicente	Calheta	Ribeira Brava	Camacha
Acessibilidade	30,77	4,40	4,40	13,19	8,79
Superfície florestal do Pinheiro bravo e Eucalipto	15,38	0,00	7,69	5,13	2,56
Área dos parques empresariais	30,77	4,40	13,19	8,79	4,40
Condições climáticas	15,38	0,00	6,59	6,59	2,20
População ativa	7,69	0,00	1,28	2,56	3,85
Pontuação (%)	100	8,79	33,15	36,26	21,79

A localização de maior interesse, de acordo com a Tabela 4.8, é no concelho da Ribeira Brava (36,26%). Os dois parâmetros mais favoráveis são a acessibilidade e área do parque empresarial, ambos com peso de 30,77%. Assim, a localização escolhida é o Parque Empresarial da Ribeira Brava, no sítio do Monte Gordo.

Na Figura 4.7 apresenta-se imagens do Parque Empresarial de Ribeira Brava.



1 Imagem de satélite do parque, em fase de construção; 2 Vista aérea do parque, já concluído;
3 Pavilhões de algumas empresas; 4 Outras áreas.

Figura 4.7. Imagens do Parque Empresarial da Ribeira Brava [85; 86]

4.2.2 Condições do local

A Figura 4.8 apresenta a planta de ordenamento do território com a localização do Parque Empresarial da Ribeira Brava, assim como a distribuição dos espaços urbanos, os espaços agro-florestais e os espaços naturais.

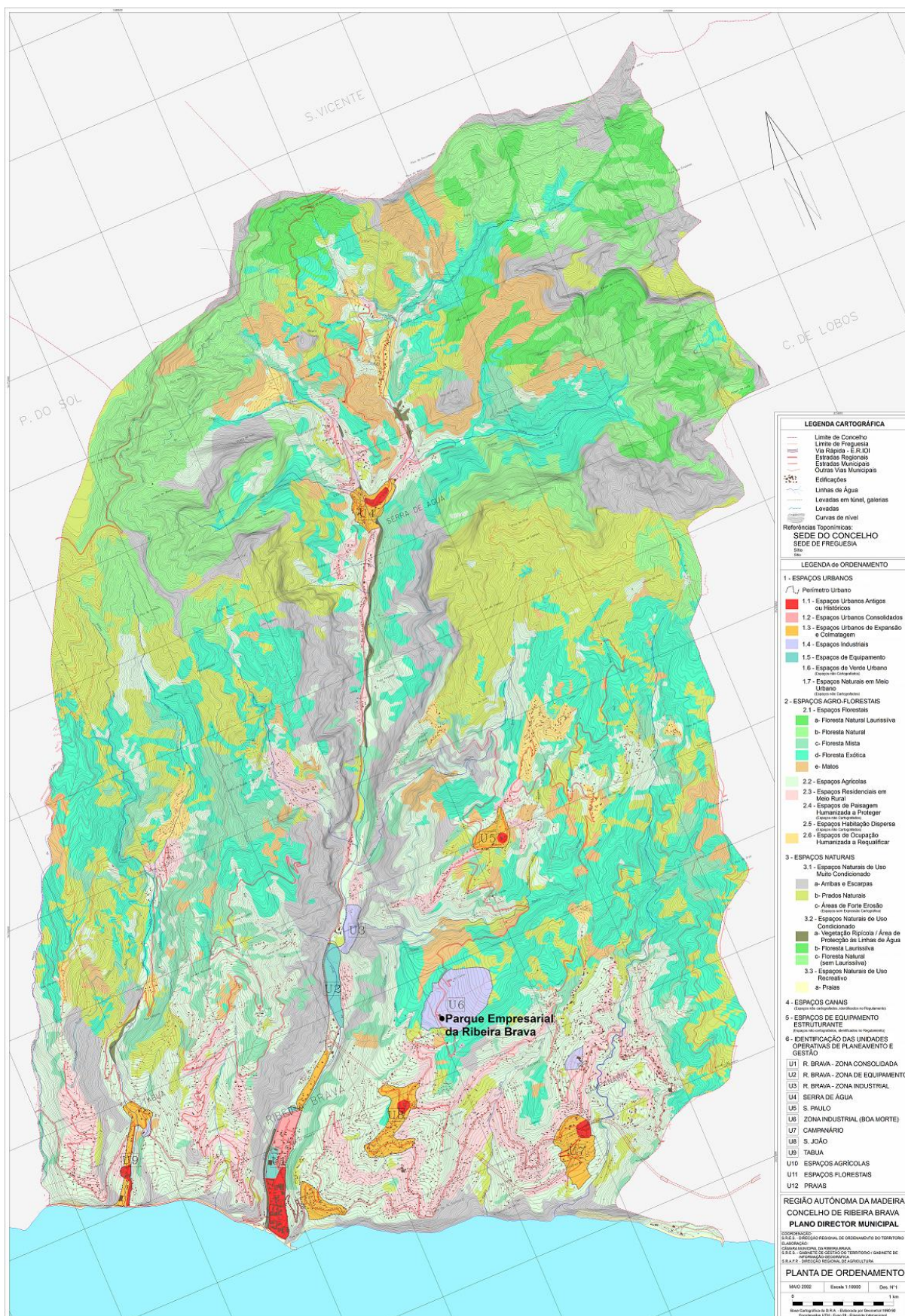


Figura 4.8. Planta de ordenamento do território no concelho de Ribeira Brava [Adaptado de 87]

4.2.3 Capacidade da instalação

Os fluxos de produção para *pellets* ou briquetes propostos para estudo são: 625 kg/h; 1.250 kg/h e 2.500 kg/h, os quais representam diferentes escalas de produção.

A instalação vai operar com um turno de 8 h, durante 5 dias por semana, 22 dias por mês, 264 dias por ano, considerando só os 5 feriados mais importantes (1 de janeiro, sexta-feira santa, 1 de maio, 25 e 26 de dezembro), com um total de 2.112 h/ano. O tempo estimado para arranque e paragens é de 30 min diários, num total anual de 132 h. Há empresas que, com base na sua experiência, optam por uma produção contínua para garantir a rentabilidade do investimento.

A manutenção será realizada em períodos de 4.000 até 4.500 h de produção para os *pellets* e 2.500 até 3.000 h para os briquetes, nos fins-de-semana ou dias não laboráveis.

Estas opções podem ser ajustadas ao mercado para otimizar a rentabilidade do projeto, mas, para efeitos deste estudo, serão estipuladas as condições de produção assinalados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9. Fluxos de produção

Produção	Fluxo de produção (t/dia)	Turno de operação	Tempo de produção diária (h)	Fluxo de produção (kg/h)
1	5	1	8	625
2	10	1	8	1.250
3	20	1	8	2.500

É importante salientar que os fluxos apresentados na Tabela 4.9 são para o produto final, já seco, pelo que, o fluxo à entrada da matéria-prima será maior pela quantidade de água contida na biomassa. Para conhecer o valor deste fluxo, deve-se especificar a taxa de evaporação com a qual opera o secador que é fornecido pelo fabricante e que será apresentado no ponto 4.2.9 relativo à descrição do processo.

4.2.4 Características e condições da matéria-prima

Com base nas características da biomassa estabelecidas na Tabela 4.1, Tabela 4.2, Tabela 4.5 e Tabela 4.6, apresenta-se uma pré-seleção do material e resíduos a utilizar na Tabela 4.10.

Tabela 4.10. Utilização de alguns materiais e resíduos

Materiais e resíduos	Utilização	Observações
Todas as folhas (exceto a Feiteira), os caules da Canavieira e frutos do Eucalipto	Não podem ser utilizados em nenhuma etapa do processo	Elevado teor de cinzas
Casca e pinhas do Pinheiro bravo, todos os resíduos de madeira ¹ e outros materiais	Na etapa de secagem ou secador	Geralmente baixo teor de cinzas e elevado poder calorífico

¹ Não pode ser utilizada a madeira de demolição por esta não ser considerada na norma EN 14961-1:2010, como será detalhado no ponto 4.2.7.

Para os restantes materiais (Feiteira, caules de Giesta e ramos de Carqueja, de Criptoméria, de Pinheiro bravo, de Eucalipto, de Acácia e de Choupo), foi elaborada uma matriz para seleccionar as matérias-primas para produzir os combustíveis de biomassa.

Os parâmetros estudados são:

- (a) **Tipo de madeira:** os materiais mais adequados são as madeiras macias, como o do Pinheiro bravo, Criptoméria e Choupo, porque provocam menos desgaste nos equipamentos.
- (b) **Quantidade de biomassa:** a Tabela 2.4 apresenta a quantidade em volume de árvores por hectare.
- (c) **Teor de cinzas:** os dados avaliados são apresentados na Tabela 4.1.
- (d) **Poder calorífico:** os valores considerados encontram-se na Tabela 4.5.
- (e) **Resíduos obtidos por espécie:** com base na Tabela 2.7, verifica-se a espécie que apresenta maior quantidade de resíduos produzidos por hectare, para assim, conhecer a quantidade de material que também pode ser aproveitado.

Na Tabela 4.11 apresenta-se os resultados obtidos para a seleção dos materiais.

Tabela 4.11. Matriz de seleção de materiais

Parâmetros	Peso (%)	Fe	Gi	Ca	Cr	Ac	Eu	PB	Ch
Tipo de madeira	33,33	1,90	1,90	1,90	6,67	3,81	3,81	6,67	6,67
Quantidade de biomassa	25,00	1,61	1,61	1,61	3,23	4,03	5,65	4,84	2,42
Teor de cinzas¹	8,33	0,30	2,08	1,79	0,89	1,49	0,00	0,60	1,19
Poder calorífico	8,33	0,30	1,49	1,79	2,08	0,00	0,89	1,19	0,60
Resíduos obtidos por espécie	25,00	1,61	1,61	1,61	3,23	5,65	4,03	4,84	2,42
Pontuação (%)	100	5,73	8,70	8,70	16,09	14,98	14,38	18,13	13,29

¹Os valores do teor de cinzas considerados, foram os determinados no laboratório.

Fe: Feiteira; Gi: Giesta; Ca: Carqueja; Cr: Criptoméria; Ac: Acácia; Eu: Eucalipto; PB: Pinheiro bravo; Ch: Choupo.

Com base na Tabela 4.11 as espécies recomendadas para a produção de combustíveis da biomassa são: a Criptoméria (16,09%), a Acácia (14,98%), o Eucalipto (14,38%), o Pinheiro bravo (18,13%) e o Choupo (13,29%). Os parâmetros mais favoráveis são o tipo de madeira (33,33%) e a quantidade de biomassa e de resíduos com 25%.

Para considerar a fração mássica da matéria-prima por cada espécie, será utilizada a ponderação obtida na Tabela 4.11.

A fração mássica da matéria-prima que será estabelecida inicialmente apresenta-se na Tabela 4.12, tanto para a produção dos *pellets* como dos briquetes.

Tabela 4.12. Fração mássica da matéria-prima

Espécies selecionadas	Fração mássica (adimensional)
Criptoméria	0,05
Acácia	0,05
Eucalipto	0,05
Pinheiro bravo	0,80
Choupo	0,05
Total	1,00

Estes valores podem sofrer alterações, de acordo com a disponibilidade das matérias-primas e os requisitos de qualidade do produto final.

4.2.5 Especificações do produto final

Para calcular o valor da massa volúmica do produto final, quando têm-se uma mistura de vários componentes sólidos, deve ser aplicada a equação (4.1) relativa ao valor médio desta propriedade, a qual é apresentada a seguir:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 \dots + \rho_n}{n} \quad (4.1)$$

$\bar{\rho}$: Massa volúmica média (kg/m³);

ρ_1 : Massa volúmica da componente 1 (kg/m³);

ρ_n : Massa volúmica da componente n (kg/m³);

n: Número de componentes (adim.).

No caso do teor de humidade, teor de cinzas e poder calorífico do produto final, é aplicada a seguinte equação (4.2):

$$\text{Prop}_{\text{Total}} = (\text{Prop}_1 \cdot x_1) + (\text{Prop}_2 \cdot x_2) + (\text{Prop}_3 \cdot x_3) \dots + (\text{Prop}_n \cdot x_n) \quad (4.2)$$

$\text{Prop}_{\text{Total}}$: Valor total final da propriedade;

Prop_1 : Valor da propriedade da componente 1;

x_1 : Fração mássica da componente 1 (adim.);

Prop_n : Valor da propriedade da componente n;

x_n : Fração mássica da componente n (adim.).

Foi aplicada a equação (4.1) e a equação (4.2) para determinar os valores potenciais tentativos das propriedades do produto final a partir dos dados obtidos no laboratório para cada componente, como é apresentado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13. Propriedades do produto final

Propriedades	Criptoméria	Acácia	Eucalipto	Pinheiro bravo	Choupo	Valor final do produto
Fração mássica (adim.)	0,05	0,05	0,05	0,80	0,05	1,00
Massa volúmica (kg/m ³)	558,38	811,62	776,62	537,62	602,09	657,27
Teor de humidade (%)	11,97	9,24	9,99	10,40	10,41	10,40
Teor de cinzas (%)	2,75	2,22	5,18	2,81	2,70	2,89
PCS (kJ/kg)	22.170	16.747	19.622	20.443	18.650	20.214

O processo de compactação altera algumas destas propriedades, pelo que as propriedades reais dos *pellets* e dos briquetes terão de ser determinados após a produção.

4.2.6 Condições de armazenamento

4.2.6.1 Armazenamento da matéria-prima

Pretende-se estabelecer vários pontos de receção na Ilha da Madeira para receber a biomassa, próximos dos locais de recolha, para reduzir custos de transportes e facilitar a operação. Estes pontos também permitem regular a quantidade de material fornecido com base na oferta e na procura [13]. Contudo, antes do armazenamento, tem-se várias etapas, que são apresentadas na Figura 4.9.



Figura 4.9. Recolha, transformação e armazenamento da biomassa [Adaptado de 20]

Para a secagem natural é aconselhável a construção de uma estrutura coberta, que permita ter o material protegido da chuva, como é apresentado na Figura 4.10, podendo a estilha alcançar uma percentagem de humidade de 25%, com um tempo de secagem entre 4 a 8 semanas.



1 Silo subterrâneo para melhor descarga do caminhão; 2 Estrutura de teto baixo.

Figura 4.10. Armazenamento da estilha [88]

Para o transporte do material para a instalação, um veículo de carga com volume de 80 m^3 , poderá carregar entre 17 e 20 t de material estilhaçado, com massa volúmica de 212 até 250 kg/m^3 , com uma dimensão menor aos $300 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ e 40% de humidade [20].

4.2.6.2 Armazenamento dos produtos

O armazenamento para cada produto é detalhado a seguir:

- (a) **Pellets:** em sacos de 15 kg e em formato de 1000 kg (*big-bag*), sendo também realizada a distribuição a granel, podendo o material ser armazenado diretamente no veículo de transporte de tipo cisterna ou em silos de armazenamento com forma cônica invertida (tipo tremonha), para a descarga mais simples do material [12].

Na Figura 4.11 apresenta-se um esquema da distribuição para *pellets*.

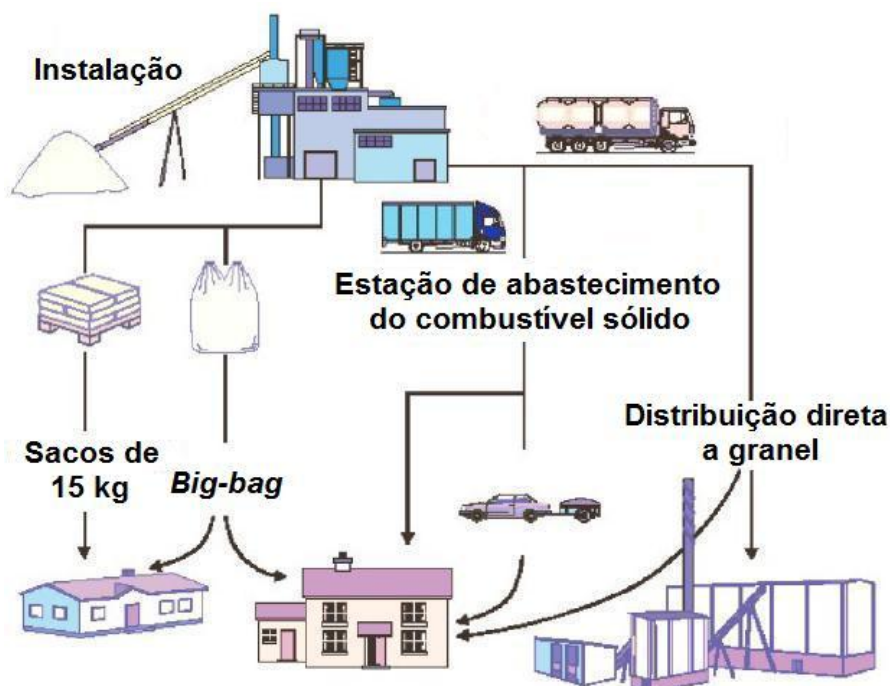


Figura 4.11. Esquema da distribuição dos *pellets* [Adaptado de 12]

(b) Briquetes: em caixas de cartão com peso de 20 kg.

É importante que os produtos da biomassa sejam armazenados em locais secos, para não permitir o crescimento de fungos ou bactérias e para garantir a qualidade e as especificações, designadamente no que refere ao poder calorífico.

4.2.7 Norma de qualidade

O *European Standard Committee*, em português, Comité Europeu de Normalização, estabeleceu uma normativa referente aos biocombustíveis sólidos, através da “*CEN/TC 335*” [89]. Este comité técnico descreve os diferentes tipos de biocombustíveis sólidos, incluindo a estilha, os *pellets*, os briquetes, a madeira ou a lenha, a serradura, as aparas de cascas, os fardos de palha, os fardos de culturas energéticas, os resíduos de azeitona e as sementes frutícolas [90].

A CEN/TC 335 está constituída por várias normas, entre elas a “*EN 14961:2010, Biocombustíveis sólidos - Especificações e classes do combustível*” que está subdividida em diversas partes, como a “*EN 14961-1:2010 Requisitos gerais*”. A “*EN 14961-1:2010*” é uma norma flexível porque permite que o produtor ou consumidor faça a seleção da classe que deseja para cada propriedade, sendo aplicada para usos gerais, principalmente o uso industrial [91].

A Tabela 4.14 apresenta os valores a considerar para a estilha, *pellets* e briquetes, com base na norma EN 14961-1:2010.

Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, *pellets* e briquetes (continua) [90]

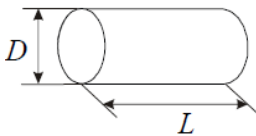
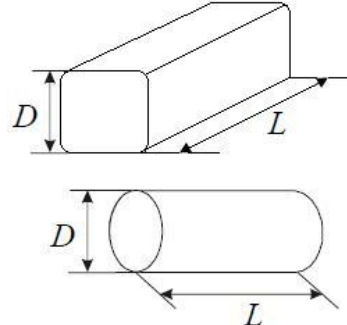
Estilha			Pellets		Briquetes	
Origem: Biomassa lenhosa			Origem: Biomassa lenhosa (1), biomassa herbácea (2), biomassa frutícola (3) assim como combinações e misturas (4) ^a			
			Forma negociada (L: Comprimento; D: Diâmetro)			
						
Dimensões (mm), CEN/TS 15149-1, CEN/TS 15149-2						
Fração principal (mínimo 75% em peso, mm) ^b		Fração grossa, peso (%), (máximo comprimento de partícula, mm) ^c	Diâmetro [D] e comprimento [L], (mm) ^d		Diâmetro [D] ou equivalente (diagonal ou corte cruzado, mm)	
P16	3,15 ≤ P ≤ 16 mm	≤ 6% > 45 mm e tudo < 120 mm	D06	6 ± 1,0 mm, e 3,15 ≤ L ≤ 40 mm	D40	25 ≤ D ≤ 40 mm
P45	3,15 ≤ P ≤ 45 mm	≤ 10% > 63 mm e tudo < 350 mm	D08	8 ± 1,0 mm, e 3,15 ≤ L ≤ 40 mm	D50	≤ 50 mm
P63	3,15 ≤ P ≤ 63 mm	≤ 10% > 100 mm e tudo < 350 mm	D10	10 ± 1,0 mm, e 3,15 ≤ L ≤ 40 mm	D60	≤ 60 mm
P100	3,15 ≤ P ≤ 100 mm	≤ 10% > 125 mm e tudo < 350 mm	D12	12 ± 1,0 mm, e 3,15 ≤ L ≤ 50 mm	D80	≤ 80 mm
P125	3,15 ≤ P ≤ 125 mm	≤ 10% > 150 mm e tudo < 350 mm			D100	≤ 100 mm
P200	3,15 ≤ P ≤ 200 mm	Deve ser especificado	D25	25 ± 1,0 mm, e 10 ≤ L ≤ 50 mm	D125	≤ 125 mm
P300	3,15 ≤ P ≤ 300 mm	Deve ser especificado			D125+	> 125 mm (valor máximo a ser indicado)

Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, *pellets* e briquetes (continuação) [90]

Estilha		Pellets		Briquetes	
				Comprimento [L] (mm)	
				L50	≤ 50
				L100	≤ 100
				L200	≤ 200
				L300	≤ 300
				L400	≤ 400
				L400+	> 400 (valor máximo a ser indicado)
Teor de humidade, [M] (peso em %, como recebido), CEN/TS 14774-1, CEN/TS 14774-2					
M10	≤ 10	M10	≤ 10	M10	≤ 10
M15	≤ 15	M15	≤ 15	M15	≤ 15
M20	≤ 20				
M25	≤ 25				
M30	≤ 30				
M35	≤ 35				
M40	≤ 40				
M45	≤ 45				
M50	≤ 50				
M55	≤ 55				
M55+	> 55 (valor máximo a ser indicado)				
Poder calorífico inferior, [Q] (MJ/kg como recebido) ou densidade energética, [E] (MJ/m ³ ligeiro), CEN/TS EN 14918		Poder calorífico inferior como recebido, [Q] (MJ/kg ou kWh/kg), CEN/TS 14918			
Valor mínimo a ser indicado					

Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, *pellets* e briquetes (continuação) [90]

Estilha			Pellets			Briquetes		
Cinzas, [A] (peso em %, base seca), CEN/TS 14775								
A0.5	≤ 0,5							
A0.7	≤ 0,7							
A1.0	≤ 1,0							
A1.5	≤ 1,5							
A2.0	≤ 2,0							
A3.0	≤ 3,0							
A5.0	≤ 5,0							
A7.0	≤ 7,0							
A10.0	≤ 10,0							
A10.0+	> 10,0 (valor máximo a ser indicado)							
Densidade volumétrica [DB] como recebido (kg/m³) CEN/TS 15103						Densidade de partícula [DE] (g/cm³) CEN/TS 15150		
BD150	≥ 150	Recomendada para ser indicada em caso de que seja negociada por base volumétrica.	BD550	≥ 550	DE0.8	≥ 0,8		
BD200	≥ 200		BD600	≥ 600	DE0.9	≥ 0,9		
BD250	≥ 250		BD650	≥ 650	DE1.0	≥ 1,0		
BD300	≥ 300		BD700	≥ 700	DE1.1	≥ 1,10 a 1,19		
BD350	≥ 350		BD700+	> 700 (valor mínimo a ser indicado)	DE1.2	≥ 1,20		
BD400	≥ 400				DE1.2+	> 1,20 (valor máximo a ser indicado)		
BD450	≥ 450							
BD450+	> 450 (valor mínimo a ser indicado)							
Comportamento das cinzas de fusão (°C), CEN/TS 15370-1								
Temperatura de deformação, [DT] deve ser indicado								

Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, *pellets* e briquetes (continuação) [90]

Estilha		Pellets		Briquetes
Azoto, [N] (peso em %, base seca), CEN/TS 15104				
N0.3	≤ 0,3			Normativa: biomassa tratada quimicamente (1.2.2; 1.3.2; 2.2.2; 3.2.2). Informação: Todos os combustíveis que não são tratados quimicamente (ver a exceção no final da Tabela).
N0.5	≤ 0,5			
N1.0	≤ 1,0			
N2.0	≤ 2,0			
N3.0	≤ 3,0			
N3.0+	> 3,0 (valor máximo a ser indicado)			
Cloro, [Cl] (peso em %, base seca), CEN/TS 15289				
Cl0.02	≤ 0,02			Normativa: biomassa tratada quimicamente (1.2.2; 1.3.2; 2.2.2; 3.2.2). Informação: Todos os combustíveis que não são tratados quimicamente (ver a exceção no final da Tabela).
Cl0.03	≤ 0,03			
Cl0.07	≤ 0,07			
Cl0.10	≤ 0,10			
Cl0.10+	> 0,10 (valor máximo a ser indicado)			
		Enxofre, [S] (peso em %; base seca), CEN/TS 15289		
		S0.02	≤ 0,02	Normativa: biomassa tratada quimicamente (1.2.2; 1.3.2; 2.2.2; 3.2.2) ou se foram utilizados os aditivos que contêm enxofre. Informação: Todos os combustíveis que não são tratados quimicamente.
		S0.05	≤ 0,05	
		S0.08	≤ 0,08	
		S0.10	≤ 0,10	
		S0.20	≤ 0,20	
		S0.20+	> 0,20 (valor máximo a ser indicado)	
		Aditivos (peso em %, pressão mássica) ^e		
		Indicar tipo e quantidade de pressão extra, inibidores de escória ou outros aditivos.		

Tabela 4.14. Parâmetros da norma EN 14961-1:2010 para estilha, *pellets* e briquetes (conclusão) [90]

Estilha		Pellets		Briquetes	
		Durabilidade mecânica, [DU] (peso em %, de pellets depois do teste), CEN/TS 15210-1		Durabilidade mecânica, [DU] (peso em %, de briquetes depois do teste), CEN/TS 15210-2	
		DU97.5	≥ 97,5	DU95.0	≥ 95,0
		DU96.5	≥ 96,5	DU90.0	≥ 90,0
		DU95.0	≥ 95,0	DU90.0-	< 90,0 (valor mínimo a ser indicado)
		DU95.0-	< 95,0 (valor mínimo a ser indicado)		
Fração de finos (< 3,15mm), % em peso CEN/TS 15149-2		Quantidade de finos, [F] (peso em %, < 3,15 mm) ^f após a produção quando é carregado ou embalados CEN/TS 15149-1			
F06	≤ 6	F1.0	≤ 1,0		
F10	≤ 10	F2.0	≤ 2,0		
F12	≤ 12	F3.0	≤ 3,0		
F15	≤ 15	F5.0	≤ 5,0		
F20	≤ 20	F5.0+	> 5,0 (valor máximo a ser indicado)		
F25	≤ 25				

^a “Combinações” refere-se a biocombustíveis intencionalmente misturados e “misturas”, aos combustíveis inadvertidamente misturados, sem incluir a madeira de demolição.

^b Os valores numéricos (P-class) refere-se à dimensão das partículas (pelo menos 75%) passando através do orifício circular que foi indicado (prEN 15149-1).

^c A área da secção transversal das partículas de grandes dimensões devem ser P16 < 1 cm², para P45 < 5 cm², para P63 < 10 cm² e P100 < 18 cm².

^d *Pellets* superiores aos 40 mm (ou 50 mm), podem ser de 5%. O comprimento máximo para as classes D06, D08 e D10 deveria ser < 45 mm.

^e A quantidade máxima de aditivo é de 20% em peso de massa de prensagem. O tipo indicado como substância química (amido). Se a quantidade for maior, então a matéria-prima para o *pellet* e briquete é uma mistura.

^f Os finos devem ser determinados usando o método prEN 15149-1.

NOTA: Especial atenção ao comportamento da fusão de cinzas para alguns combustíveis de biomassa, por exemplo, Eucalipto, Álamo, talhadia de rotação curta, palha (estes três para a estilha, *pellets* e briquetes) assim como o Miscanthus e caroço de azeitona, no caso dos *pellets* e briquetes.

4.2.8 Seleção das tecnologias

Das 47 empresas fornecedoras contactadas que atuam no mercado europeu, 31 responderam: Áustria (1), Dinamarca (1), Espanha (18), Itália (1) e Portugal (10).

Foram realizadas três matrizes de seleção uma para o estilhaçador a utilizar no parque de recolha da matéria-prima; a segunda para o processo de *pellets*; e por último, a matriz para a etapa de briquetagem, a qual pode ser incorporada depois do moinho no processo de *pellets*.

4.2.8.1 Matriz de seleção do triturador

Os parâmetros estudados para a seleção do triturador a utilizar no ponto de recolha do material são os seguintes:

- (a) **Custo:** seleção dos equipamentos que satisfaçam as necessidades da empresa pelo valor mais económico.
- (b) **Fornecedor:** prioridade aos fornecedores nacionais para que seja menor o custo de transporte para a Ilha da Madeira.
- (c) **Tipo de triturador:** apesar do custo ser superior, são de maior interesse os estilhaçadores móveis pois possibilitam o transporte para o ponto de recolha.
- (d) **Diâmetro máximo do material:** tem de triturar ramos e troncos de árvores até 30 cm de diâmetro.
- (e) **Peso do triturador:** deve ser o menor possível, por facilidade de transporte.

Para uma justificação mais simples dos fatores de maior ou menor importância, foi elaborada a Tabela 4.15, que contém os dados relativos a cada parâmetro, informação fornecida na cotação enviada por cada fornecedor. Há que destacar que, por fornecedor, existe mais de uma maquinaria proposta (identifica-se entre parêntesis para os parâmetros A, D, E), mas só será selecionada aquela que possa abranger o maior diâmetro possível de tronco. É designado um valor numérico em “*negrito*”, como identificação para as empresas não selecionadas, sendo só divulgado o nome da empresa fornecedora escolhida dentro de cada categoria.

Tabela 4.15. Dados dos trituradores (Fonte: Dados fornecidos pelos fornecedores)

Empresas	Parâmetros				
	A (€)	B	C	D (cm)	E (kg)
11	1) 50.800 2) 97.600 3) 105.000	Espanha	Todos móveis	Diâmetro superior a 30	1) 3.085 2) 3.402 3) 5.670
Ecomáquinas	1) 38.530,33 2) 36.824,08 3) 43.000	Portugal	Todos móveis	1) 24 2) 24 3) 27	1) 2.250 2) 2.250 3) 2.500
15	1) 23.508 2) 26.905	Portugal	Todos fixos	1) 16 2) 25	1) 900 2) 1.050 até 1.625

A: Custo; B: Fornecedor; C: Tipo de triturador; D: Diâmetro máximo do material; E: Peso do triturador.

Na Tabela 4.16 é indicada a matriz resultante do triturador selecionado.

Tabela 4.16. Matriz de seleção para o triturador

Parâmetros	Peso (%)	11	Ecomáquinas	15
Custo	36,36	0,00	12,12	24,24
Fornecedor	9,09	0,00	4,55	4,55
Tipo de triturador	18,18	9,09	9,09	0,00
Diâmetro máximo do material	27,27	18,18	9,09	0,00
Peso do triturador	9,09	0,00	3,03	6,06
Pontuação (%)	100	27,27	37,88	34,85

Os dois parâmetros de maior importância são o custo (36,36%) e a dimensão do material a triturar (27,27%), com base na Tabela 4.16. O triturador selecionado foi o da empresa portuguesa “Ecomáquinas - Forest Machinery” que comercializa, importa e efetua a montagem de equipamentos florestais, com uma pontuação na matriz de 37,88%. Foi selecionado especificamente o triturador “3)” pois opera com um diâmetro máximo de tronco de 27 cm.

4.2.8.2 Matriz de seleção do processo de *pellets*

Os parâmetros estudados para a seleção do processo de *pellets* são apresentados de seguida (não são descritos os que apresentam a mesma definição do ponto anterior):

- (a) **Custo.**
- (b) **Fornecedor.**
- (c) **Fluxo de produção:** houve empresas fornecedoras que enviaram fluxos menores ou maiores aos estabelecidos, porém os processos que apresentaram o fluxo de produção mais aproximado do requerido, têm maior peso.
- (d) **Disponibilidade de todas as maquinarias:** as empresas fornecedoras devem apresentar o processo de produção completo, desde o triturador até o embalado do produto.
- (e) **Combustível para o secador:** deve permitir a utilização de resíduos de biomassa para otimização da operação.
- (f) **DFP:** o processo deve apresentar um diagrama com a distribuição dos equipamentos.
- (g) **Peletização e briquetagem num único processo:** pretende-se que uma mesma empresa forneça num único processo, a produção de *pellets* e briquetes, por razões de compatibilidade e otimização da manutenção.

Para a elaboração da matriz de seleção, foram considerados os dados que se apresentam na Tabela 4.17. Os valores entre parêntesis são os relativos a cada fluxo de produção.

Na Tabela 4.18, apresenta-se a matriz de seleção da empresa fornecedora para o processo de *pellets*.

Tabela 4.17. Dados do processo de *pellets* (Fonte: Dados fornecidos pelos fornecedores)

Empresas	Parâmetros						
	A (€)	B	C (Fluxos)	D	E	F	G
Apisa	1) 766.840 2) 1.148.480 3) 1.837.530	Espanha	Primeiro, segundo e terceiro	Todos	Biomassa	Inclui	<i>Pellets</i>
5	2.990.567	Portugal	Segundo	Todos	Biomassa	Inclui	Ambos
7	1) 561.900 2) 634.800	Itália	Primeiro e segundo	Secador até embalado	Biomassa	Inclui	<i>Pellets</i>
8	1.299.000	Portugal	Segundo (maior)	Todos	-	Não inclui	<i>Pellets</i>
10	949.069	Espanha	Primeiro (maior)	Secador até arrefecedor	Biomassa	Inclui	<i>Pellets</i>
16	1) 1.511.402,10 2) 2.034.976,32 3) 2.719.047,09	Espanha	Primeiro, segundo e terceiro (maior)	Todos	Biomassa	Inclui	<i>Pellets</i>
19	2.712.486	Espanha	Segundo	Todos	Biomassa	Não inclui	Ambos
22	1) 444.149 2) 475.239	Espanha	Depende da maquinaria	Triturador, secador, peletizador e briquetagem	Biomassa	Não inclui	Ambos
24	764.217,81	Espanha	Terceiro (menor)	Todos	-	Não inclui	Ambos
28	2) 823.650 3) 1.304.650	Espanha	Segundo e terceiro	Secador até embalado	Biomassa	Não inclui	Ambos

A: Custo; B: Fornecedor; C: Fluxo de produção; D: Disponibilidade de todas as maquinarias; E: Combustível para o secador; F: DFP; G: Peletização e briquetagem num único processo.

Tabela 4.18. Matriz de seleção para o processo de *pellets*

Parâmetros	Peso (%)	Apisa	5	7	8	10	16	19	22	24	28
A	25,00	4,08	1,02	4,59	2,55	2,55	1,53	1,02	1,02	3,06	3,57
B	4,17	0,39	0,51	0,39	0,51	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
C	25,00	4,50	2,50	3,50	1,50	1,50	4,00	2,50	0,00	1,50	3,50
D	16,67	2,38	2,38	0,89	2,38	0,30	2,38	2,68	0,00	2,38	0,89
E	8,33	1,12	1,12	1,12	0,12	1,12	1,12	1,12	1,12	0,12	0,25
F	4,17	0,67	0,45	0,67	0,00	0,67	0,45	0,30	0,30	0,30	0,37
G	16,67	1,03	2,31	1,03	1,03	1,03	1,03	2,31	2,31	2,31	2,31
Pontuação (%)	100	14,17	10,28	12,19	8,09	7,56	10,90	10,32	5,14	10,07	11,29

Com base na Tabela 4.18, o fornecedor escolhido foi a empresa espanhola “*APISA (Ayerbe plantas industriales de secado, S.L)*”, que comercializa equipamentos de secagem e de aproveitamento de resíduos agrícolas e industriais para a produção de biocombustíveis, sendo a pontuação de 14,17%. Os dois parâmetros mais favoráveis são o custo do processo e o fluxo de produção, ambos com 25%.

4.2.8.3 Matriz de seleção da etapa de briquetagem

Os parâmetros a considerar nesta matriz de seleção são indicados de seguida:

- (a) **Custo.**
- (b) **Fornecedor.**
- (c) **Fluxo de produção.**
- (d) **DFP.**
- (e) **Arrefecimento:** a proposta deve incluir depois da compactação, a fase de arrefecimento do briquete.
- (f) **Embalamento:** deve incluir a maquinaria para fornecer o produto embalado.
- (g) **Peletização e briquetagem num único processo.**

Na Tabela 4.19 apresenta-se os dados que foram considerados para cada empresa fornecedora. Tal como no ponto anterior, para o parâmetro A, identifica-se entre parêntesis o fluxo de produção.

Tabela 4.19. Dados para a etapa de briquetagem (Fonte: Dados fornecidos pelos fornecedores)

Empresas	Parâmetros						
	A (€)	B	C	D	E	F	G
2	1) 101.900 2) 167.000 3) 210.300	Espanha	Primeiro, segundo e terceiro (menores)	Inclui	Não	Não	Briquetes
3	1) 131.921 2) 211.391 3) 416.282	Dinamarca	Primeiro, segundo e terceiro	Não inclui	Sim	Não	Briquetes
5	348.600	Portugal	Segundo (maior)	Inclui	Sim	Sim	Ambos
19	396.748	Espanha	Segundo	Não inclui	Sim	Sim	Ambos
22	182.945	Espanha	Segundo	Não inclui	Sim	Não	Ambos
24	107.575	Espanha	Primeiro (maior)	Não inclui	Não	Não	Ambos
Vimar Systems	1) 115.640 2) 169.140 3) 338.280	Espanha	Primeiro, segundo e terceiro	Não inclui	Sim	Não	Ambos

A: Custo; B: Fornecedor; C: Fluxo de produção; D: DFP; E: Arrefecimento; F: Embalamento; G: Peletização e briquetagem num único processo.

Na Tabela 4.20 representa-se a matriz resultante da empresa selecionada para os briquetes.

Tabela 4.20. Matriz de seleção para a etapa de briquetagem

Parâmetros	Peso (%)	2	3	5	19	22	24	Vimar Systems
A	23,08	5,77	3,85	2,88	2,88	2,88	0,00	4,81
B	3,85	0,53	0,53	0,64	0,53	0,53	0,53	0,53
C	23,08	5,33	5,33	0,89	2,66	2,66	0,89	5,33
D	3,85	0,74	0,50	0,62	0,50	0,50	0,50	0,50
E	15,38	0,48	2,88	2,88	2,88	2,88	0,48	2,88
F	15,38	1,65	1,65	3,30	3,30	1,65	1,65	2,20
G	15,38	0,48	0,48	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88
Pontuação (%)	100	14,98	15,22	14,10	15,64	14,00	6,93	19,13

De acordo com a Tabela 4.20, a empresa espanhola “Vimar Systems - Dryers and technology”, que fabrica e fornece equipamentos de secagem, entre outras tecnologias, foi a selecionada com pontuação de 19,13% e os dois parâmetros de maior importância foram o custo da etapa de briquetagem e o fluxo de produção, ambos com peso de 23,08%.

4.2.9 Descrição do processo

A instalação dos processos de produção de *pellets* e briquetes dentro de uma mesma área deve ter componentes comuns a ambos os processos, pelo que, as maquinarias que se encontram antes da prensa peletizadora ou da briquetadora serão as mesmas. As etapas são indicadas a seguir, com base na informação fornecida pelas empresas contactadas.

- (a) **Pré-trituração ou estilhaçado:** é requerido um triturador móvel para a biomassa que chega inteira ao ponto de recolha apto para triturar rama verde e troncos até 270 mm de diâmetro [92]. O estilhaçador fixo vai estar incorporado ao processo de *pellets* e briquetes e produzirá a estilha com uma granulometria de 20 a 30 mm [93]. É importante eliminar à entrada do triturador as partículas, pedras ou resíduos de maior tamanho [46], para prevenir desgaste prematuro e avarias.

As características de cada modelo são apresentadas na Tabela 4.21.

Tabela 4.21. Características dos trituradores e estilhaçadores [92; 93]

Triturador ou estilhaçador	Modelo	Velocidade do motor (r.p.m)	Motor principal (kW)	Peso (kg)
Móvel	H10M	-	47	2.250
Fixo 625 kg/h	VAZ 1100 M	135	37	2.150
Fixo 1.250 kg/h	VAZ 1300 M	170	55	4.000
Fixo 2.500 kg/h	VAZ 1300 M XL	135	75	5.000

Caso seja implementada a opção do ponto de recolha, não será necessário ter o estilhaçador fixo na instalação, pois o material já se encontra triturado.

- (b) Secagem forçada:** a estilha entra a uma tremonha para armazenar o material húmido que irá ser utilizado na etapa de secagem. O gerador de ar quente dispõe de uma caldeira que utiliza como combustível biomassa seca (resíduos com humidade inferior a 20%), de uma câmara de combustão (inclui grelha fixa, ventilador centrífugo para ar primário e decantador de cinzas tipo ciclónico), de uma tremonha de armazenamento do combustível e de um sistema que liga o gerador ao secador [93].

O secador de tambor rotativo horizontal, é composto por pás longitudinais e desidrata o material fazendo-o passar pelo ar quente que se encontra a 800°C, permitindo diminuir a humidade de 40% (máximo) até 10%. O material já seco passa a um decantador onde se formam duas correntes, uma com as partículas mais grossas, dirigidas para a fase de moagem e a outra com as partículas mais finas que são aspiradas por um ventilador centrífugo para um ciclone, que separa as partículas mais finas das mais pesadas, sendo estas últimas enviadas para o moinho. As partículas mais finas são retiradas por uma chaminé de saída do ar, que inclui sistema de filtragem (recolhe as partículas maiores a 10 micrómetros), sendo esta corrente dirigida novamente à caldeira de combustão de biomassa. O material já seco é transportado num elevador, e posteriormente armazenado numa tremonha à entrada do moinho (etapa seguinte) [93].

Na Tabela 4.22 apresenta-se as características mais importantes do secador.

Tabela 4.22. Características do secador [93]

Modelo	Entrada (material húmido kg/h)	Taxa de evaporação (kg/h)	Saída (material seco kg/h)	Potência calorífica (kWt/h)	Máx. Evaporação (kg/h de água)
AYPE F-8.130-D	938	313	625	406	600
AYPE F-12.180-D	1.875	625	1.250	813	2.000
AYPE EF-14.220-I	3.750	1.250	2.500	-	2.500

Os secadores propostos visam tratar material com humidade de 40%. O secador pode ser otimizado para outros teores de humidade, com ajustes a fazer antes da aquisição, sem alterar de forma significativa o preço [93].

- (c) Moagem:** o material armazenado na tremonha é movimentado por um transportador duplo de rosca sem fim para um elevador e depois para uma tremonha de menor tamanho, pelo qual o material, em forma de estilha, é forçado a passar pelas perfurações para obter tamanhos de partículas mais homogêneos, como serrim fino (tamanho de 4 a 5 mm). À saída do moinho, o material é direcionado para um ciclone de decantação de partículas grossas e depois para

um filtro de manga que separa as partículas sólidas da corrente gasosa. Após esta fase, o material é transportado num elevador até um misturador com capacidade volumétrica dependente do fluxo de produção, dando início à fase de compactação [93].

As características dos moinhos são apresentadas na Tabela 4.23.

Tabela 4.23. Características do moinho de martelo [93]

Fluxo (kg/h)	Modelo	Número de martelos oscilantes	Número de crivos	Motor elétrico (kW)
625	AYPE	18	1	60
1.250	BSI-T3	36	2	75
2.500	AYPE MM-270	128	2	200

- (d) **Peletização:** o material sai do misturador e entra no peletizador, com transmissão de duplo jogo de correias, para a compactação das partículas através de um aumento de pressão, para a formação dos *pellets*. O peletizador internamente é de aço inoxidável e é composto por um doseador, misturador prévio, armário elétrico e uma câmara de granulação com 3 rolos [93].

As características do peletizador são apresentadas na Tabela 4.24.

Tabela 4.24. Características do peletizador [93]

Fluxo (kg/h)	Modelo	Dimensões da câmara [diâmetro interno x altura de pista] (mm)	Motor elétrico (kW)
625	MABRIK PVR 100	554 x 59	55
1.250	MABRIK PVR 150 N	452 x 90	110
2.500	MABRIK PVR 270 2	750 x 110	200

- (e) **Arrefecimento dos *pellets*:** os *pellets* produzidos são transportados por uma rosca transportadora sem fim de aço inoxidável para um elevador que transporta o material para cima do arrefecedor de grânulo, onde caem dentro de uma câmara vertical, com um fluxo em contracorrente de ar, que contém um sistema interior onde se extrai os *pellets*, uma tremonha à saída, um sistema de aspiração composto por um ciclone de decantação de pequenas partículas que aspira o material com um ventilador centrífugo e um limpador-separador de finos situado na saída dos *pellets*. As partículas finas que são separadas do produto são introduzidos no misturador que se encontra antes do peletizador, para serem novamente aproveitados no processo. Os *pellets* são transportados por uma rosca sem fim até outro elevador, onde o produto cai dentro da tremonha de armazenamento, para ser posteriormente embalado [93].

A Tabela 4.25 mostra algumas características dos arrefecedores.

Tabela 4.25. Caraterísticas do arrefecedor [93]

Fluxo (kg/h)	Modelo do arrefecedor	Fluxo volumétrico do aspirador (m ³ /h)	Motor do ventilador centrífugo (kW)
625	MABRIK RVF-11-C	2.700	4
1.250	MABRIK RVF-11-C	3.900	5,5
2.500	MABRIK RVF-19-C	10.800	11

- (f) **Embalamento dos *pellets*:** os *pellets* armazenados serão dirigidos para uma ensacadora semiautomática modelo BEC-PB 10-50, com sistema de enchimento de velocidade variável, composta por um sistema de pesagem do saco, para valores entre 10 a 50 kg, e de uma cinta transportadora dos sacos, direcionando-os a uma cosedora modelo H1-FFS, que fecha os sacos. Para os sacos de grandes dimensões (*big-bag*) têm-se uma tremonha de 2,5 m³ de capacidade, com sistema de pesagem e fecho do saco [93].

O processo de embalamento é igual para cada fluxo de produção.

- (g) **Outros componentes:** deve ser considerado o armário elétrico de manobra do processo que dispõe de um ecrã tátil com interruptor automático, proteção térmica dos motores, arrancadores eletrónicos das prensas e moinhos, variadores de velocidade para o secador, entre outros, sendo tudo isto controlado pelo controlador lógico programável (PLC) [93].

- (h) **Briquetagem e arrefecimento:** depois da etapa de moagem, no ponto (c), o material que se encontra no misturador, que deve ter um tamanho de partícula entre 1 e 12 mm com teor de humidade entre 8% e 12%, entra numa pequena tremonha onde é então dirigido para a briquetadora automatizada de aço que comprime a madeira, sendo resistente aos desgastes, de elevada fiabilidade e com custos de manutenção baixos. Todas as peças internas que estão sujeitas à fricção são constituídas por aço, apresentando um tratamento térmico especial para garantir a sua durabilidade [94].

No sistema de arrefecimento dos briquetes é utilizado um circuito de refrigeração horizontal a baixa pressão, de 12 a 14 m de comprimento. Para o corte do briquete é utilizado um cutelo que garante o corte simétrico do produto [94].

Na Tabela 4.26 especifica-se algumas caraterísticas dos modelos de briquetadores.

Tabela 4.26. Caraterísticas dos briquetadores [94]

Fluxo (kg/h) ^a	Modelo	Fluxo de produção (kg/h)	Diâmetro do briquete (mm)	Comprimento do briquete (mm)	Potência do motor (kW)	Peso (kg)
625	MB70	600 até 800	70	20 a 300	37	3.900
1.250	MB90	1.100 até 1.800	90 (quadrado)	20 a 300	55	7.800

^a Para a briquetadora do fluxo de 2.500 kg/h serão utilizados dois modelos da MB90.

- (i) **Embalamento dos briquetes:** é realizado de forma manual nas respetivas caixas.

Na Figura 4.12 apresenta-se algumas imagens dos vários componentes do processo.



1 Triturador móvel; 2 Gerador de ar quente; 3 Secador; 4 Secador e caixão de decantação; 5 Ciclone e chaminé; 6 Moinho; 7 Peletizador; 8 Enfriador; 9 Embalado; 10 Armário elétrico; 11 Ecrã táctil; 12 Briquetador.

Figura 4.12. Imagens dos componentes do processo [92; 93; 94]

4.2.10 Diagramas de processo

(a) Diagrama de bloco de processo (DBP)

Na Figura 4.13 apresenta-se um esquema resumo do processo para cada produto.

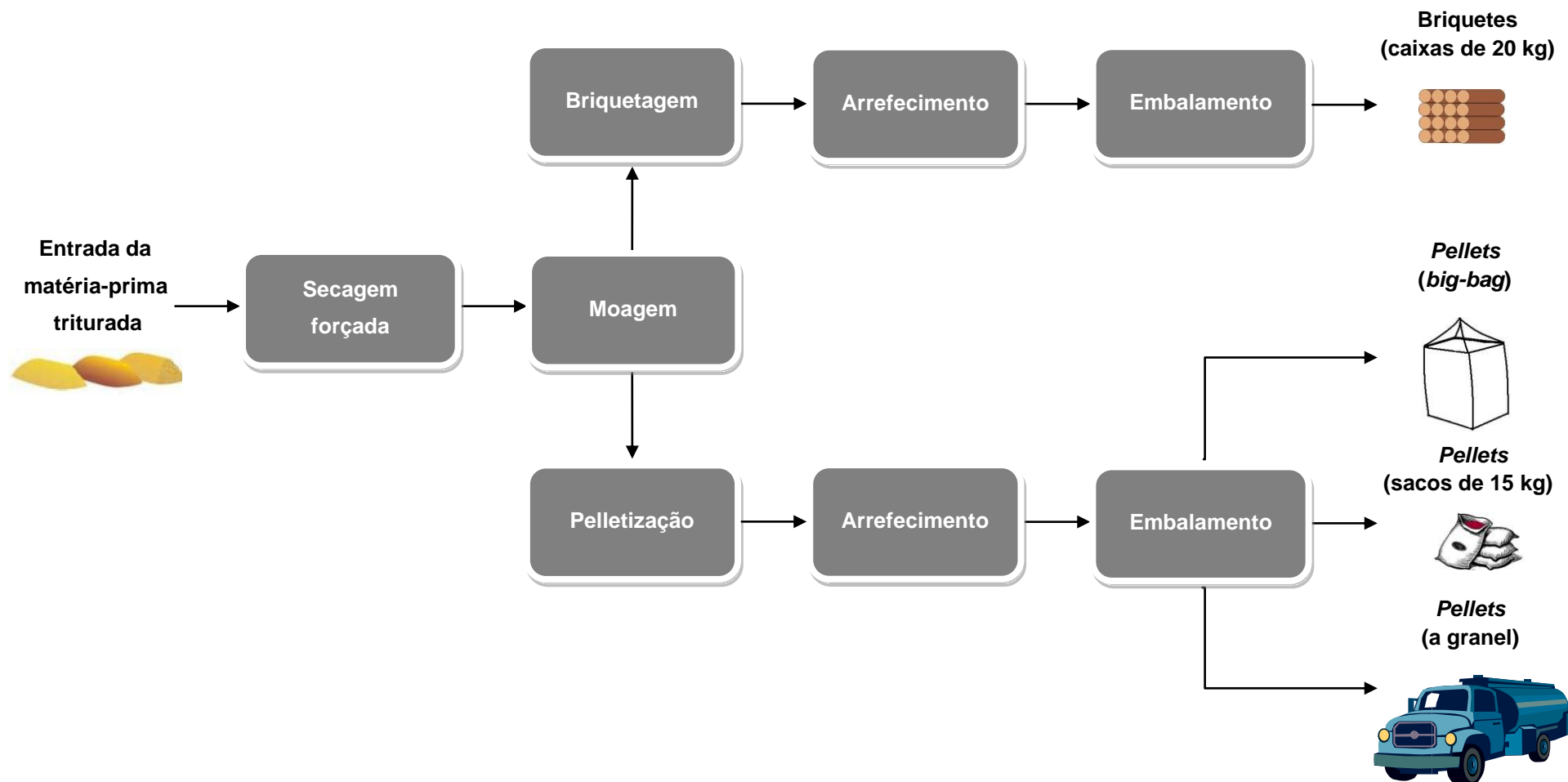


Figura 4.13. Diagrama de bloco de processo

(b) Diagrama de fluxo de processo (DFP)

Na Figura 4.14 apresenta-se o digrama de fluxo de processo.

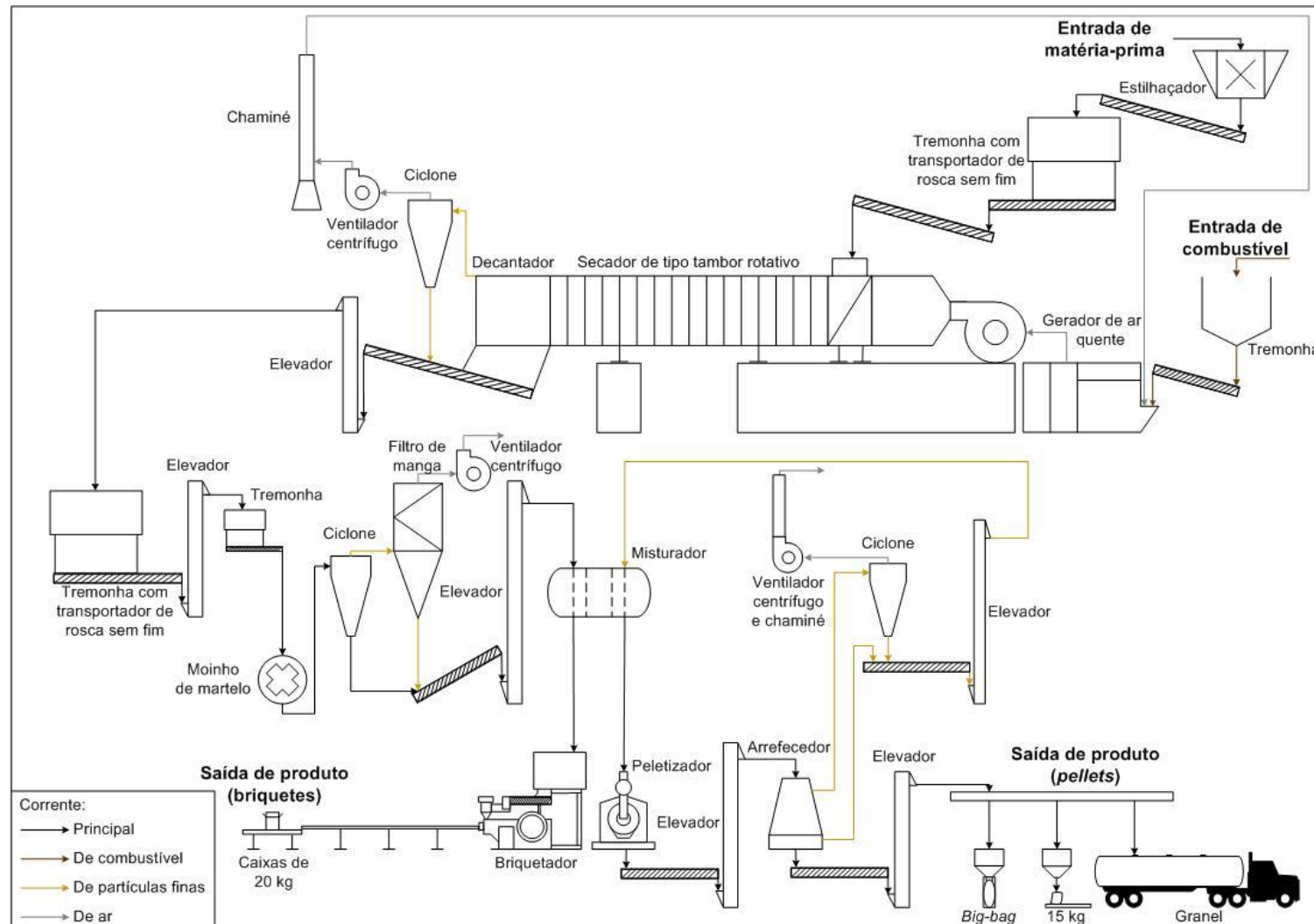


Figura 4.14. Diagrama de fluxo de processo (Adaptado dos diagramas das empresas Apisa e Vimar Systems) [93; 94]

4.2.11 Estudo económico

Os resultados obtidos no estudo económico são apresentados na Tabela 4.27, Tabela 4.28 e Tabela 4.29, dependendo do fluxo de produção especificado. Os aspetos considerados na determinação dos fluxos de caixa são detalhados no Apêndice A.2.

Tabela 4.27. Fluxo de caixa para produção de 625 kg/h

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Custos (€)											
Construção civil	425.409										
Aquisição e instalação de equipamentos	997.389										
Maquinaria para transporte, carga e descarga	170.201										
Outros gastos não especificados	11.240										
Projetos, fiscalização e coordenação	85.782										
Licenças, registos e taxas	9.308										
Custo alfandegário, transporte e impostos	48.649										
Viagem, manutenção e alojamento dos técnicos	6.080										
Serviços de apoio necessários à operação		21.944	22.164	22.385	22.609	22.835	23.064	23.294	23.527	23.763	24.000
Despesas com o pessoal		87.191	87.627	88.065	88.505	88.948	89.393	89.840	90.289	90.740	91.194
Renda do terreno		8.127	8.168	8.208	8.250	8.291	8.332	8.374	8.416	8.458	8.500
Seguro da instalação		4.757	4.781	4.805	4.829	4.853	4.878	4.902	4.926	4.951	4.976
Manutenção dos equipamentos e outros custos		20.231	31.572	31.730	31.888	32.048	32.208	32.369	32.531	32.693	32.857
Total de despesas	1.754.056	142.251	154.311	155.194	156.082	156.975	157.874	158.779	159.689	160.605	161.527
Receitas (€)											
Venda total dos <i>pellets</i> e briquetes		268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000
Total de receitas	0	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000	268.000
Fluxos de caixa	-1.754.056	125.749	113.689	112.806	111.918	111.025	110.126	109.221	108.311	107.395	106.473
Fluxos de caixa acumulado	-1.754.056	-1.628.307	-1.514.618	-1.401.812	-1.289.894	-1.178.869	-1.068.743	-959.521	-851.211	-743.816	-637.343

Tabela 4.28. Fluxo de caixa para produção de 1.250 kg/h

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Custos (€)											
Construção civil	508.263										
Aquisição e instalação de equipamentos	1.379.029										
Maquinaria para transporte, carga e descarga	170.201										
Outros gastos não especificados	11.296										
Projetos, fiscalização e coordenação	143.707										
Licenças, registos e taxas	10.776										
Custo alfandegário, transporte e impostos	97.297										
Viagem, manutenção e alojamento dos técnicos	6.080										
Serviços de apoio necessários à operação		36.767	37.134	37.506	37.881	38.259	38.642	39.028	39.419	39.813	40.211
Despesas com o pessoal		87.191	87.627	88.065	88.505	88.948	89.393	89.840	90.289	90.740	91.194
Renda do terreno		8.910	8.955	8.999	9.044	9.090	9.135	9.181	9.227	9.273	9.319
Seguro da instalação		6.003	6.033	6.063	6.093	6.123	6.154	6.185	6.216	6.247	6.278
Manutenção dos equipamentos e outros custos		32.700	47.727	47.965	48.205	48.446	48.688	48.932	49.177	49.422	49.670
Total de despesas	2.326.649	171.570	187.475	188.598	189.728	190.866	192.012	193.165	194.326	195.495	196.672
Receitas (€)											
Venda total dos <i>pellets</i> e briquetes		535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200
Total de receitas	0	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200	535.200
Fluxos de caixa	-2.326.649	363.630	347.725	346.602	345.472	344.334	343.188	342.035	340.874	339.705	338.528
Fluxos de caixa acumulado	-2.326.649	-1.963.019	-1.615.294	-1.268.691	-923.220	-578.886	-235.698	106.337	447.210	786.915	1.125.444

Tabela 4.29. Fluxo de caixa para produção de 2.500 kg/h

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Custos (€)											
Construção civil	636.373										
Aquisição e instalação de equipamentos	2.239.219										
Maquinaria para transporte, carga e descarga	170.201										
Outros gastos não especificados	11.425										
Projetos, fiscalização e coordenação	250.958										
Licenças, registos e taxas	13.047										
Custo alfandegário, transporte e impostos	194.595										
Viagem, manutenção e alojamento dos técnicos	6.080										
Serviços de apoio necessários à operação		54.169	54.711	55.258	55.810	56.368	56.932	57.502	58.077	58.657	59.244
Despesas com o pessoal		116.873	117.457	118.045	118.635	119.228	119.824	120.423	121.025	121.630	122.239
Renda do terreno		11.988	12.048	12.108	12.169	12.230	12.291	12.352	12.414	12.476	12.538
Seguro da instalação		8.724	8.768	8.812	8.856	8.900	8.945	8.989	9.034	9.079	9.125
Manutenção dos equipamentos e outros custos		60.620	84.239	84.660	85.083	85.509	85.936	86.366	86.798	87.232	87.668
Total de despesas	3.521.896	252.374	277.223	278.882	280.553	282.235	283.928	285.632	287.348	289.075	290.814
Receitas (€)											
Venda total dos <i>pellets</i> e briquetes		1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400
Total de receitas	0	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400	1.064.400
Fluxos de caixa	-3.521.896	812.026	787.177	785.518	783.847	782.165	780.472	778.768	777.052	775.325	773.586
Fluxos de caixa acumulado	-3.521.896	-2.709.871	-1.922.694	-1.137.176	-353.329	428.836	1.209.308	1.988.076	2.765.128	3.540.453	4.314.040

Com base nos dados apresentados na Tabela 4.27, Tabela 4.28 e Tabela 4.29, calculou-se o valor da TIR para cada fluxo de produção, para um período de análise de 10 anos, sendo de -7,6% para o fluxo de 625 kg/h (o investimento não tem retorno no prazo de 10 anos); de 8% para o fluxo de 1.250 kg/h, obtendo-se um fluxo de caixa acumulado positivo a partir do sétimo ano; e por último, para o fluxo de 2.500 kg/h, o valor da TIR é de 18,2% com um fluxo de caixa acumulado positivo a partir do quinto ano.

Como era de esperar, com um maior fluxo de produção, obtém-se uma rentabilidade superior do projeto, porque os custos fixos são relativamente inferiores e há maior economia de escala na aquisição dos equipamentos e na construção das instalações.

Foi também avaliada a rentabilidade do projeto quando se aumenta o turno laboral de um para dois turnos, considerando também superiores os custos relativos a serviços, salários e manutenção dos equipamentos, para os fluxos de 625 kg/h e de 1.250 kg/h. No caso do fluxo de 625 kg/h, tem-se um valor da TIR de 6% com um fluxo de caixa acumulado positivo a partir do oitavo ano e para o fluxo de 1.250 kg/h, a TIR é de 28,1%, com um fluxo de caixa acumulado positivo a partir do quarto ano. Com isto, conclui-se que, para uma produção de 20 t/dia e com base também no mercado existente na Madeira, a rentabilidade do projeto é superior com dois turnos diários para o fluxo de 1.250 kg/h. Para uma produção de 10 t/dia, é melhor estabelecer um turno diário de 8 h de operação para o fluxo de 1.250 kg/h (TIR = 8%).

5 CONCLUSÕES

A produção dos combustíveis sólidos promove a valorização da biomassa e da floresta, reduzindo os riscos de incêndio e a dependência do petróleo, contribuindo para a diminuição da propagação do NMP, criando emprego e desenvolvendo a economia local.

As 10 espécies consideradas para o projeto foram a Criptoméria, Choupo, Giesta, Canavieira, Eucalipto, Pinheiro bravo, Carqueja, Silvado, Feiteira e Acácia, onde foi tido em conta a área de ocupação florestal, o potencial energético e a contribuição para a propagação de incêndios na Ilha da Madeira. Foi realizada uma caracterização físico-química, com o intuito de selecionar as espécies mais viáveis para a produção de combustíveis de biomassa.

Os materiais escolhidos como matéria-prima foram os ramos do Pinheiro bravo, Criptoméria, Choupo, Acácia e do Eucalipto, pelos valores que apresentam de teor de cinzas, massa volúmica e poder calorífico, bem como pela quantidade de material presente na Ilha da Madeira, incluindo resíduos gerados. Com a utilização destes materiais como matéria-prima garante-se a obtenção de um combustível de biomassa de qualidade, cumprindo a normativa de biocombustíveis sólidos, a “CEN/TC 335”, com base nos dados da “EN 14961-1:2010 Requisitos gerais”.

O projeto será instalado no Parque Empresarial da Ribeira Brava, pela ótima acessibilidade em termos de rede viária e da proximidade da matéria-prima. Operando com um turno laboral de 8 h, durante 5 dias da semana, com 22 dias de produção mensal, 264 dias anuais de produção, considerando-se 5 feriados, com um total de 2.112 h anuais, com um mínimo de 6 trabalhadores, para qualquer dos três fluxos de produção avaliados (625 kg/h; 1.250 kg/h e 2.500 kg/h), serão produzidos *pellets* em sacos de 15 kg, de 1.000 kg (*big-bag*) e distribuição a granel, assim como briquetes, em caixas de 20 kg. No caso de ser requerido um aumento de produção, já se encontrando instalados os componentes do processo, não será necessário mudar os equipamentos. Basta simplesmente um aumento no tempo de produção, uma vez que as maquinarias operam com um fluxo fixo de produção por hora.

Com base no estudo económico, para um turno laboral, o fluxo de 625 kg/h (TIR de -7,6%) apresenta um investimento que não tem retorno no prazo de 10 anos; no fluxo de 1.250 kg/h a inversão verifica-se a partir do sétimo ano (TIR de 8%) e no fluxo de 2.500 kg/h a partir do quinto ano (TIR de 18,2%), sendo que com um aumento de produção obtém-se uma maior rentabilidade do projeto. Com dois turnos de operação, para o fluxo de 625 kg/h recupera-se a inversão a partir do oitavo ano (TIR de 6%) e para o fluxo de 1.250 kg/h reabilita-se desde o quarto ano (TIR de 28,1%), sendo portanto superior a rentabilidade do projeto com dois turnos diários para ambos fluxos. Em resumo a produção de combustíveis a partir da biomassa florestal é economicamente viável nas condições estudadas, principalmente para fluxos de produção de 1.250 kg/h (independentemente do turno), ponderando a quantidade de material diário a utilizar, a disponibilidade de matéria-prima na Ilha da Madeira (essencialmente de Pinheiro bravo) e as necessidades do mercado da Região.

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que é viável a instalação de uma unidade de produção de combustíveis sólidos na Ilha da Madeira, tanto pelas características das espécies florestais disponíveis, bem como pelas soluções tecnológicas existentes e pela análise económica do investimento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido à complexidade do trabalho desenvolvido, são propostos a seguir, diversos fatores que podem ser aprofundados em trabalhos futuros dentro da área de biomassa.

- (a) Efetuar uma caracterização físico-química mais profunda e detalhada, das espécies estudadas, de forma a criar uma base de dados na Ilha da Madeira que permita o fácil acesso e disponibilização destes dados.
- (b) Atualizar os dados apresentados no Inventário Florestal da Região Autónoma da Madeira, a nível da superfície, volume e quantidade das espécies florestais que nesse documento são detalhados, devido à ocorrência dos últimos incêndios registados na Ilha da Madeira.
- (c) Realizar a quantificação dos resíduos florestais que podem ser obtidos anualmente para as espécies estudadas, os provenientes das serrações e carpintaria assim como os resíduos verdes e madeiras que são tratados na ETF.
- (d) Investigar os custos de matéria-prima a nível das espécies florestais, que podem ser aplicados na Região.
- (e) Determinar os custos no abate, recolha e transporte das espécies de interesse ou bem dos resíduos obtidos, que vão a ser utilizados como matéria-prima para a produção de combustíveis sólidos na Ilha da Madeira, aspetos estes relevantes no estudo económico.
- (f) Desenvolver um estudo do mercado na Região em quanto à demanda de *pellets* e briquetes, tanto no setor público como no privado.
- (g) Aplicar este estudo em outras zonas ou regiões do país, para constatar a viabilidade na instalação de uma unidade de produção de combustíveis sólidos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gonçalves, M. (2012). *2ª Aula Teórica*. Aula de Produção e Utilização de Biocombustíveis Líquidos não publicada, Mestrado em Energia e Bioenergia, Universidade Nova de Lisboa, Almada, Portugal.
- [2] Robbins, M.P., Evans, G., Valentine, J., Donnison, I.S., & Allison, G.G. (2012). New opportunities for the exploitation of energy crops by thermochemical conversion in Northern Europe and the UK. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38, 138-155.
- [3] *Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera (AITIM)*. (2008). Artigos: Pélets y Briquetas. Acedido em 26 de fevereiro de 2013, de http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2293_9990.pdf.
- [4] Camps, M., & Marcos, F. (2008). *Energías renovables: Los biocombustibles* (2a ed.). Madrid: Mundi-prensa.
- [5] Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C.G., & Morgan, T.J. (2012). An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, 1-33.
- [6] *Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009*. (2009, 5 de junho). Acedido em 16 de julho de 2013, de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:pt:PDF>.
- [7] *Manuales sobre energía renovable: Biomasa*. (2002). San José, Costa Rica: Biomass Users Network (BUN-CA). Acedido em 26 de fevereiro de 2013, de http://www.bun-ca.org/index.php?option=com_content&view=article&id=321&Itemid=111.
- [8] Van der Stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A., & Ptasinski, K.J. (2011). Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. *Biomass and bioenergy*, 35, 3748-3762.
- [9] Centro de Biomassa para a Energia (CBE) - Projeto BIORREG FLORESTA. (n.d). *Atlas da biomassa florestal residual em Portugal Continental*. Centro de Biomassa para a Energia (CBE).
- [10] Enes, P., Dans, F., & Molina, B (Coords). (2007). *Enersilva - Promoção do uso da biomassa florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa*. Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).
- [11] Lapa, N. (2011). *Tecnologias de Conversão Térmica e Poluentes em Gases de Combustão*. Aula de Energia e Ambiente não publicada, Mestrado em Energia e Bioenergia, Universidade Nova de Lisboa, Almada, Portugal.
- [12] Loução, I.J. (2008). *Valorização da biomassa florestal, proveniente da doença de nemátodo de pinheiro, para produção de peletes*. Dissertação de Mestrado, Faculdade De Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- [13] Sousa, C. (2009). *A biomassa florestal como fonte de energia renovável em Portugal*. Miranda de Corvo, Portugal. Centro de Biomassa para a Energia (CBE).

- [14] Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM)., Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia (DRCIE)., & Empresa de Electricidade da Madeira, S.A (EEM). (2012). *Plano de Acção para a Energia Sustentável - Ilha Da Madeira*. Funchal, Portugal: Vice-Presidência do Governo Regional.
- [15] Oliveira, F. (Coords.). (2005). *Avaliação do Potencial Energético da Biomassa na Região Autónoma da Madeira*. Funchal, Portugal: Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM) e Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI).
- [16] Mendes, J.M., & Oliveira, F (Coords.). (2006). *Levantamento do Potencial Energético da Biomassa Florestal na Região Autónoma da Madeira*. Funchal, Portugal: Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM). Acedido em 15 de agosto de 2013, de http://www.arem.pt/download/eramac2/Levantamento_Biomassa_Florestal_RAM.pdf.
- [17] Metacortex – consultoria e modelação de recursos naturais. (2008). *IFRAM1 - 1º Inventário Florestal da Região Autónoma da Madeira*. Funchal, Portugal: Direcção Regional das Florestas (DRF) e Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais (SRE).
- [18] Correia, F.N., & Mendes, J.M. (Coords.). (2000). *Plano Regional da Política de Ambiente. Caracterização base (Vol.2)*. Funchal, Portugal: Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM).
- [19] Santos, D., & Aguiar, R. (Eds). (2006). *Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira - Projecto CLIMAAT II*. Funchal, Portugal: Direcção Regional do Ambiente da Madeira.
- [20] Sá, A.J. (2009). *Caraterização da recolha de matéria-prima para a produção de pellets*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- [21] *Base de Dados Portugal Contemporâneo (PORDATA)*. (2013). Dados de superfície, população residente e densidade populacional, dos municípios da Ilha da Madeira para o ano 2012. Acedido em 12 de agosto de 2013, de <http://www.pordata.pt/Municipios/Ambiente+de+Consulta/Tabela>.
- [22] *Agência Portuguesa do Ambiente: Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território*. (n.d). Atlas do Ambiente da Madeira 2008: parque natural, biotopos, concelhos e linha da costa da Ilha da Madeira. Acedido em 3 de setembro de 2012, de <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>.
- [23] Agencia Estatal de Meteorologia de España & Instituto de Meteorologia de Portugal. (2012). *Atlas climático dos arquipélagos das Canárias, da Madeira e dos Açores*. Agencia Estatal de Meteorologia.
- [24] *Madeira Gentes e Lugares*. (n.d). Artigos: Clima do Arquipélago da Madeira. Acedido em 25 de abril de 2013, de <http://madeira-gentes-lugares.blogspot.pt/2007/06/clima-do-arquiplago-da-madeira.html>.

- [25] Silva, J.S., Feveteiro, A., & Machado, I. (Coords). (2007) *Árvores e Florestas de Portugal: Açores e Madeira - A Floresta das Ilhas*. Lisboa: Público.
- [26] Mateus, P. (2006). *Guião de Educação Ambiental: conhecer e preservar as florestas*. Ministério da Educação e Direcção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular.
- [27] *Atlas de Portugal*. (n.d). O país socioeconómico: Atividades da terra - A floresta. Acedido em 5 de outubro de 2013, de http://www.igeo.pt/atlas/Cap3/Cap3b_6.html.
- [28] Borges, P., Abreu, C., Aguiar, A.M., Carvalho, P., Jardim, R., Melo, I., et al. (Coords). (2008). *Listagem dos fungos, flora e fauna terrestres dos arquipélagos da Madeira e Selvagens*. Funchal, Portugal: Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais do Governo Regional da Madeira (SRA).
- [29] Silva, L., Land, E.O., & Luengo, J.L. (Eds). (2008) *Flora e Fauna Terrestre Invasora na Macaronésia: Top 100 nos Açores, Madeira e Canárias*. Açores, Portugal: Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma dos Açores.
- [30] *Árvores e arbustos de Portugal: Guia claro e simples para a sua identificação*. (2007) Espanha: Everest.
- [31] Marchante, E., & Marchante, H. (2005). *Plantas Invasoras em Portugal: Cana (Arundo Donax L.)* N°26. Coimbra, Portugal: Instituto do Mar, Departamento de Botânica, Universidade de Coimbra e DCEA, Escola Superior Agrária de Coimbra.
- [32] Lowe S., Browne M., Boudjelas S., & De Poorter M. (2004) *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo: Una selección del Global Invasive Species Database*. Auckland, Nueva Zelanda: Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI) e Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- [33] Da Silva, F.A., & De Meneses, C.A. (1921). *Elucidário Madeirense (Vol.I)*. Acedido em 19 de agosto de 2013, de http://www.bprmadeira.org/imagens/documentos/File/bprdigital/ebooks/Elucidario_vol_I.pdf.
- [34] Menezes de Sequeira, M., Fontinha, S., Freitas, F., Ramos, L., & Mateur, M.G. (2006) *Plantas e Usos Tradicionais nas Memórias de Hoje: Freguesia da Ilha*. Funchal, Portugal: Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais (SRA).
- [35] *Serra da Estrela - Covão da Ponte*. (n.d) Feto Ordinário: Pteridium Aquilinum. Acedido em 29 de agosto de 2013, de <http://www.covaodaponte.com/264>.
- [36] Shimizu, J.Y., & Maiochi, R.A. (2007). Criptoméria como espécie alternativa para produção de madeira no Paraná. *Pesquisa Florestal Brasileira (PFB): Braziliam Journal of Forestry Research*, N°54, 63-70. Acedido em 29 de agosto de 2013, de <http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/128/102>.
- [37] Marchante, E., & Marchante, H. (2005). *Plantas Invasoras em Portugal: Acácia-negra (Acácia mearnsii De Wild)* N°16. Coimbra, Portugal: Instituto do Mar, Departamento de Botânica -

- Universidade de Coimbra e DCEA - Escola Superior Agrária de Coimbra. Acedido em 29 de agosto de 2013, de <http://www1.ci.uc.pt/invasoras/files/16acacia-negra.pdf>.
- [38] Da Silva, F.A., & De Meneses, C.A. (1921). *Elucidário Madeirense (Vol.III)*. Acedido em 19 de agosto de 2013, de http://www.bprmadeira.org/imagens/documentos/File/bprdigital/ebooks/elucidariovol_III.pdf.
- [39] *Árvores e Arbustos de Portugal*. (2004). Arborium: Pinheiro-Bravo. Acedido em 28 de agosto de 2013, de <http://arvoresdeportugal.free.fr/IndexArborium/Ficha%20pinuspinaster.htm>.
- [40] *Biorede - Universidade de Aveiro*. (n.d). Diversidade vegetal: *Populus tremula*. Acedido em 29 de agosto de 2013, de <http://www.biorede.pt/page.asp?id=1231>.
- [41] Clarke, S., & Preto, F. (2011). *Biomass Densification for Energy Production*. Ontario, Canadá: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Acedido em 12 de maio de 2013, de <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/11-035.pdf>.
- [42] *Bioenergia: Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*. (2004). Comissão Europeia - Programa ALTENER. Acedido em 21 de maio de 2013, de http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/livro_bioenergia_manual_sobre%20tecnologias_projetos_e_instalacoes_2004.pdf.
- [43] Erald, A., Rakos, C., Mendes, C., Lagergren, F., Bjerg, J., & Almeida, T. (2002). *Aquecimento a biomassa em grandes edifícios: Aspectos Técnicos Essenciais*. Miranda de Corvo, Portugal: Centro da Biomassa para a Energia (CBE). Acedido em 30 de agosto de 2013, de http://www.centrodabiomassa.pt/images/stories/documentos/brochure_pt_tek.pdf Revisado em 07/09/2013. Págs. 25.
- [44] *Amatex*. (2007). Pélet y astilla: Catálogo de Biocombustibles. Acedido em 11 de setembro de 2013, de <http://www.amatex.es/pdf/pellets%20doble%202012.pdf>.
- [45] Gonçalves, M. (2012). *4ª Aula Teórica - Secagem e densificação da biomassa*. Aula de Produção de Energia a partir de Biomassa não publicada, Mestrado em Energia e Bioenergia, Universidade Nova de Lisboa, Almada, Portugal.
- [46] *Prodesa*. (n.d). Producción de pellets: catálogo de plantas de producción de pellets. Acedido em 15 de maio de 2013, de <http://www.prodesa.net/res/documentos/CATALOGOS/espanol/PRODESA%20-%20Elaboración%20de%20Pellets.pdf>.
- [47] Barbosa, M.T. (2008). *Análise da utilização de biomassa e resíduos florestais para a produção de pellets*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- [48] Apisa. (2013). *Plantas Industriales de Secado*. Catálogo de secadores não publicado, Empresa Apisa, Huesca, Espanha.

- [49] *Wikipedia: la enciclopedia libre*. (2013). Paca de paja. Acedido em 18 de setembro de 2013, de http://es.wikipedia.org/wiki/Paca_de_paja.
- [50] *Agroads*. (n.d). Insumos: forrajes. Acedido em 18 de setembro de 2013, de <http://www.agroads.com.ar/detalle.asp?clasi=55168>.
- [51] *OLX*. (2013). Fardos de palha. Acedido em 18 de setembro de 2013, de <http://fontedeangeao.olx.pt/fardos-de-palha-iid-437260489>.
- [52] *Warren&Baerg: Manufacturing, Inc.* (2006). Industrial Gallery: Peanut Hull Cubes. Acedido em 18 de setembro de 2013, de <http://www.warrenbaerg.com/gallery.php?n=2&id=13&gallery=4>.
- [53] *Canadian Biomass*. (2013). Mobile and stationary briquetters: Fuel pucks. Acedido em 18 de setembro de 2013, de <http://www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/1464/97/>.
- [54] *Midlands Wood Fuel (MWF): Sustainable Wood Heat*. (n.d). Wood Chip Fuel Explained. Acedido em 18 de setembro de 2013, de <http://www.wood-fuel.co.uk/wood-chip/>.
- [55] Gonçalves, M. (2012). *5ª Aula Teórica - Densificação da biomassa*. Aula de Produção de Energia a partir de Biomassa não publicada, Mestrado em Energia e Bioenergia, Universidade Nova de Lisboa, Almada, Portugal.
- [56] Bissen, D. (2009). *Biomass Densification Document of Evaluation*. Minneapolis, MN: Agricultural Utilization Research Institute, Minnesota Corn Research & Promotion Council e Minnesota Soybean Research & Promotion Council. Acedido em 6 de setembro de 2013, de <http://www.mncorn.org/sites/mncorn.org/files/research/final-reports/201206/BiomassDensification.pdf>.
- [57] *Parque Experimental Transfronteiriço Sobre Energias Renováveis (PETER)*. (2013). Biomassa Florestal: Novas Técnicas de Produção e de Aproveitamento de Biocombustíveis. Acedido em 8 de agosto de 2013, de http://www.parquepeter.org/index.php?q=system/files/Peter_evora_08_nov_forestech.pdf.
- [58] *Martos&Cª: Industria e Comércio de Madeiras e Derivados*. (2013). Biomassa e Energia: Estilha. Acedido em 18 de setembro de 2013, de <http://www.martos.pt/?p=FF3&jc=FF14&pc=FF7&ip=VkZod1drMVZNVIZTV0hCT1IXeEZNRIJWUIRsUUVVUMDk=&l=pt>.
- [59] *Wood First: Wood Technology*. (2013). Sectores industriais: Biofuel. Acedido em 18 de setembro de 2013, de <http://www.woodfirst.pt/briquetes>.
- [60] Mendes, B., & Morais, J. (2004). Biomassa e bioenergia, presente e futuro dos biocombustíveis. Em Associação Portuguesa de Biologia Vegetal e Agro-Industrial, *Biologia Vegetal e Agro-industrial* (Vol. 1, pp. 125-137). Lisboa: Sílabo.
- [61] Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., & Portero, H. (2011) Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. *Fuel Processing Technology*, 92, 699-706.

- [62] *Parlamento Europeu - Pacote clima-energia: "três vintes" até 2020*. (2008). Acedido em 16 de julho de 2013, de <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+PDF+V0//PT&language=PT>.
- [63] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013*. (2013, 10 de abril). Acedido em 16 de julho de 2013, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2013/04/07000/0202202091.pdf>.
- [64] Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C.G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89, 913-933.
- [65] Centro de Biomassa para a Energia (CBE). (2004). *Optimização das Operações de Exploração Florestal, Recolha, Acondicionamento, Transporte e Transformação Primária dos Resíduos para a Produção de Energia*. Miranda de Corvo, Portugal: Centro de Biomassa para a Energia (CBE).
- [66] Lapa, N. (2012). *Biomassa e Bio-resíduos: parâmetros de caracterização, propriedades físicas e químicas, unidades*. Aula de Valorização de Biomassa e Resíduos não publicada, Mestrado em Energia e Bioenergia, Universidade Nova de Lisboa, Almada, Portugal.
- [67] ESCAN. (2008) *Biomasa. Experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA). Acedido em 30 de agosto de 2013, de http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10980_Biomasa_experiencias_A2008_A_3acc6e67.pdf.
- [68] Paulrud, S., Nilsson, C., & Öhman, M. (2001). Reed canary-grass ash composition and its melting behavior during combustion. *Fuel*, 80, 1391-1398.
- [69] Viana, H., Vega-Nieva, D.J., Torres, L.O., Lousada, J., & Aranha, J. (2012) Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain. *Fuel*, 102, 737-745.
- [70] Oropeza, L. (n.d). *Ingenierias conceptual, básica y de detalle*. Aula de Desenho não publicada, Universidade Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- [71] Da Corte, M., & Peñaloza, P. (2009). *Diseño de una nueva area de producción de la línea de ácido en la planta de Chapellín de la Empresa Fuller Interamericana, C.A*. Dissertação de Licenciatura, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- [72] Blank, L. y Tarquin, A. (1999). *Ingeniería económica (4a ed)*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- [73] Abecassis, F., & Cabral, N. (2010). *Análise Económica e Financeira de Projectos (6a ed.)*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- [74] Casanova J. (2008) *Costo y estimación de costos, evaluación financiera y flujo de caja*. Aula de Engenharia Económica não publicada, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

- [75] Núñez-Regueira, L., Añón, J.A., & Castiñeiras, J.P. (1999) Design of risk index maps as a tool to prevent forest fires in the northern coast of Galicia (N.W. Spain). *Bioresource Technology*, 69, 23-33.
- [76] *BIOBIB - A Database for biofuels*. (n.d). BIOBIB - search categories: alphabetically sorted list. Acedido em 10 de junho de 2013, de <http://cdmaster2.vt.tuwien.ac.at/biobib/all.html>.
- [77] Bhatt, B.P., & Tomar, J.M.S. (2002) Firewood properties of some Indian mountain tree and shrub species. *Biomass & Bioenergy*, 23, 257-260.
- [78] *Purdue University: Center for New Crops & Plant Products*. (2013). Crop Index: Acacia mearnsii de Wild. Acedido em 14 de junho de 2013, de http://www.hort.purdue.edu/newcrop%20/duke_energy/Acacia_mearnsii.html.
- [79] Boboulos, M. (2010). *Biomass Properties and Fire Prediction Tools*. Dr. Miltiadis Boboulos & Ventus Publishing ApS. Acedido em 12 de junho de 2013, de <http://www.zums.ac.ir/files/research/site/ebooks/energy-environment/biomass-properties-and-prediction.pdf>.
- [80] *Energy research Centre of the Netherlands (ECN): Phyllis 2*. (2012). Database for biomass and waste: star browsing. Acedido em 10 de junho de 2013, de <http://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis>.
- [81] *SilvaPlus*. (2013). Notícias: Nova Newsletter Silvaplus (Nº26). Acedido em 09 de outubro de 2013, de http://www.silvaplus.com/fotos/editor2/Newsletter/newsletter_26.pdf.
- [82] *Wood energy: Ireland's Natural and Renewable Energy Source*. (2006). Wood as a Fuel: List and values of wood fuel parameters - Part 2. Acedido em 15 de junho de 2013, de <http://www.woodenergy.ie/woodasafuel/listandvaluesofwoodfuelparameters-part2/>.
- [83] Filbakk, T., Jirjis, R., Nurmi, J., & Høibø, O. (2011). The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass & Bioenergy*, 35, 3342-3349.
- [84] *Madeira Parques Empresariais*. (2010). Parques Empresariais. Acedido em 05 de outubro de 2013, de <http://www.madeiraparques.com.pt/ParquesEmpresariais.aspx>.
- [85] *Madeira Parques Empresariais*. (2010). Parques Empresariais: Newsletter Nº20. Acedido em 05 de outubro de 2013, de http://www.madeiraparques.com.pt/LinkClick.aspx?fileticket=J4n_iM3550%3D&tabid=63.
- [86] *Madeira Parques Empresariais*. (2010). Parque Empresarial da Ribeira Brava: Imagens do Parque Empresarial. Acedido em 05 de outubro de 2013, de <http://www.madeiraparques.com.pt/ParquesEmpresariais/RibeiraBrava/RibeiraBravaOPARQUE.aspx>.
- [87] *Câmara Municipal de Ribeira Brava*. (2010). Plano Director Municipal - Mapas: Ordenamento. Acedido em 24 de novembro de 2013, de <http://www.cm-ribeirabrava.pt/pdm.html>.

- [88] Vicens, I.L., & Palou, M.C. (2010). *Estudio de las características de la astilla forestal y buenas prácticas para su aplicación energética: Estudio E002*. Solsona, Espanha: Área de Aprovechamientos Madereros y Biomassa - Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Acedido em 6 de outubro de 2013, de http://www.mercadobiomassa.com/intranet/uploads/descargas/Estudio_pilas_astilla_buenas_practicas_INTADER_CTFC.pdf.
- [89] García-Maraver, A., Popov, V., & Zamorano, M. (2011). A review of European standards for pellet quality. *Renewable Energy*, 36, 3537-3540.
- [90] Instituto Português da Qualidade (IPQ). (2013). CEN/TS 14961:2010 Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 1: General requirements (local de consulta: Direção Regional do Comércio, Indústria e Energia (DRCIE) da Região Autónoma da Madeira).
- [91] Mendes, C. (2011). *Normas e qualidades dos biocombustíveis sólidos (Workshop - "Biocombustíveis Sólidos - Produção, Qualidade e Utilização no Mercado de Calor")*. Miranda de Corvo, Portugal. Centro de Biomassa para a Energia (CBE). Acedido em 17 de julho de 2013, de http://www.centrodabiomassa.pt/images/stories/noticias/CBE_Normas.pdf.
- [92] Ecomáquinas: forest machinery. (2013). Proposta de preços para trituradores móveis. Oferta de triturador não publicado, Empresa Ecomáquinas, Mangualde, Portugal.
- [93] Apisa. (2013). *Presupuesto de proceso de pellets*. Oferta dos componentes de processo de pellets não publicado, Empresa Apisa, Huesca, Espanha.
- [94] Vimar Systems. (2013). *Oferta de instalación de briquetado*. Preço e características do processo de briquetado não publicado, Empresa Apisa, Barcelona, Espanha.
- [95] Blanco, B., & Oropeza, L. (n.d). *Método de Decisión Múltiple Binario (MDMB)*. Aula de Desenho não publicada, Universidade Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- [96] Schaller GmbH - Humimeter.com. (n.d). Price List Bioenergy Moisture meters 2013/2014. Oferta de medidores de humidade não publicado, Empresa Schaller GmbH, St.Ruprecht an der Raab, Áustria.
- [97] Husqvarna. (2012). *Catálogo de produtos para silvicultura e jardinagem - 2012*. Características dos produtos não publicado, empresa Husqvarna, Corunha, Espanha.
- [98] Scania Filial Funchal. (2013). Oferta de veículos, produtos & serviços scania. Oferta de veículo de transporte para pellets não publicado, Empresa Scania, Caniço, Portugal.
- [99] Quadrante: comércio de elevadores. (2013). Proposta de empilhador e porta paleta manual. Oferta de empilhador e porta paleta manual não publicado, Empresa Quadrante, Caniço, Portugal.
- [100] Decreto Regulamentar Regional n.º 1/2011/M: Fixação do valor do metro quadrado de construção para o ano de 2011. (2011, 16 de março). Acedido em 30 de novembro de 2013, de

http://www.portaldahabitacao.pt/opencms/export/sites/portal/pt/portal/docs/noticias/Legislacao_madeirapdf.pdf.

- [101] *Madeira Parques Empresariais*. (2010). Parques Empresarial da Ribeira Brava: Planta áreas. Acedido em 05 de outubro de 2013, de http://www.madeiraparques.com.pt/LinkClick.aspx?fileticket=sAC3WQwwW_4%3d&tabid=118.
- [102] *Edital 26: Atualização dos valores das taxas e outras receitas previstas no regulamento e tabela de taxas e outras receitas do Município de Ribeira Brava*. (2013, 6 de maio). Acedido em 6 de dezembro de 2013, de <http://www.cm-ribeirabrava.pt/phocadownload/Alteracao%20Regulamento%20Taxas%20Outras%20Receitas%20Municipais%20Agosto%202013.pdf>.
- [103] *Direção Regional do Comércio, Indústria e Energia (DRCIE)*. (n.d). Indústria - Licenciamento industrial: classificação dos estabelecimentos industriais. Acedido em 6 de dezembro de 2013, de http://drcie.gov-madeira.pt/drcie/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=341&tmpl=component&format=raw&Itemid=135.
- [104] *TAP Portugal*. (2013). Voos. Acedido em 3 de dezembro de 2013, de <http://www.flytap.com/Portugal/pt/Homepage>.
- [105] *Hotelopia*. (2013). Pesquisa: Hotel Bravamar. Acedido em 3 de dezembro de 2013, de <http://www.hotelopia.pt/infohotel.aspx?idMarket=142&landingpage=infohotel.aspx&codhot=15245>.
- [106] *Associação Portuguesa dos Comerciantes de Materiais de Construção (apcmc)*. (n.d). Legislação - Atual: Salário Mínimo Nacional 2013. Acedido em 1 de dezembro de 2013, de http://www.apcmc.pt/legislacao/2013/salario_minimo_2013.html.
- [107] *Meo*. (n.d). Aderir - Pacotes e promoções: todos os pacotes. Acedido em 1 de dezembro de 2013, de <http://meo.pt/aderir/outros-pacotes/pacotes/fibra?tipo=6#pacotes>.
- [108] *Jornal oficial da Região Autónoma da Madeira - Serie I - Número 37: Resolução n.º 268/2013*. (2013, 20 de março). Acedido em 1 de dezembro de 2013, de <http://www.gov-madeira.pt/joram/1serie/Ano%20de%202013/ISerie-037-2013-03-20sup3.pdf>.
- [109] *Electricidade da Madeira*. (2012). Documentação: tarifário 2013. Acedido em 1 de dezembro de 2013, de http://www.eem.pt/images/stories/documents/tarifas_ram2013.pdf.
- [110] *Mais gasolina: a original desde 2006*. (2013). Preço diário do gasóleo. Acedido em 16 de dezembro de 2013, de <http://www.maisgasolina.com/>.
- [111] *Madeira Parques Empresariais*. (2010). Serviços: Tabela de preços. Acedido em 6 de dezembro de 2013, de <http://www.madeiraparques.com.pt/Servi%C3%A7os/TABELADEPRE%C3%87OS.aspx>.

APÊNDICES

A1 Metodologia de cálculo do Método de Decisão Múltiplo Binário

O MDMB utiliza-se para atribuir uma ponderação aos diferentes parâmetros que compreende uma matriz de avaliação, assim como para selecionar, entre diferentes alternativas propostas, a mais favorável, de acordo com uma pontuação obtida através do método. O procedimento descreve-se de seguida:

- Seleciona-se os parâmetros que interessam para as alternativas propostas. Exemplo: os custos, consumo de energia, entre outros. Estes devem estar definidos com precisão para que seu valor seja facilmente projetável [95].
- A estes parâmetros selecionados, é-lhes atribuído um peso. Os passos a seguir consistem em comparar cada parâmetro com os restantes na base de um a um. Nesta comparação determina-se qual dos dois é o mais importante. Por exemplo, se entre os parâmetros A e B, o mais importante é o A, a este parâmetro é-lhe atribuído um 1 (um) e ao menos importante, é atribuído um 0 (zero). Depois, compara-se A com C, A com D e assim sucessivamente com os restantes parâmetros [95].
- Uma vez realizada a comparação entre o par de parâmetros, procede-se à obtenção dos fatores de ponderação para cada parâmetro da matriz. Para isto, aplica-se a equação (A1.1).

$$\text{Peso} = \left(\frac{\text{SP}}{\text{ST}} \right) \cdot 100 \quad (\text{A1.1})$$

SP: Soma dos valores na fila correspondente portanto, para um determinado parâmetro;

ST: Soma dos SP de cada parâmetro (valor total). [95]

Na Tabela A1.1 ilustra-se um exemplo da distribuição dos pesos.

Tabela A1.1. Matriz de peso por parâmetro [95]

	A	B	C	D	SP	Peso (%)
A	-	1	1	0	2	33,3
B	0	-	1	0	1	16,7
C	0	0	-	1	1	16,7
D	1	1	0	-	2	33,3
ST					6	100

- Uma vez obtidos os fatores de ponderação, são avaliadas as alternativas entre si. Supondo que se tem três alternativas propostas I, II e III, para obter a alternativa mais favorável, procede-se à sua classificação. Isto executa-se comparando, para cada parâmetro, as alternativas entre si. Assim, para o parâmetro A quando compara-se as alternativas I e II entre si, aquela que dentro deste parâmetro seja a mais favorável, obtém a classificação de 1 (um). As comparações são medidas pelo seu carácter objetivo, nomeadamente qual é a

maior ou a mais pequena, a mais alta ou mais baixa, a mais cara ou mais económica, entre outros. Continua-se comparando as alternativas entre si até completar a tabela [95].

Seguindo os passos delineados, tem-se a pontuação parcial por alternativa para cada parâmetro. Seguidamente, calcula-se a pontuação obtida pelo peso que tem cada parâmetro dentro da matriz de avaliação, como se detalha na equação (A1.2). Por exemplo, o parâmetro A apresenta um peso de 33,3%, portanto, na matriz final, a alternativa I obtém uma pontuação de 11,1 pontos [95].

$$\left(\frac{\text{Peso da Alternativa I na matriz do parâmetro A}}{100} \right) \cdot \text{Peso total do parâmetro A} = \text{Valor} \quad (\text{A1.2})$$

$$\left(\frac{33,3}{100} \right) \cdot 33,3 = 11,1 \text{ pontos}$$

Esta pontuação é calculada e somada, para assim obter a pontuação definitiva para cada alternativa. A alternativa que acumule mais pontos será a mais recomendável.

Na Tabela A1.2, ilustra-se como fica a matriz com os valores finais [95].

Tabela A1.2. Matriz de peso total por alternativa [95]

Parâmetros	Peso (%)	ALT I	ALT II	ALT III
A	33,3	11,1	22,2	0
B	16,6	5,5	11,1	0
C	16,6	11,1	0	5,5
D	33,3	22,2	0	11,1
Pontuação (%)	100	49,9	33,3	16,6

Dos valores refletidos na matriz, observa-se que a alternativa mais favorável é a “ALT I” (49,9%), seguida da “ALT II” (33,3%) e depois a “ALT III” (16,6%) [95].

A2 Custos e receitas do projeto por cada fluxo de produção

Os custos do investimento inicial, descrevem-se a seguir:

- (a) **Estudos:** não foram considerados porque se encontram relacionados com a investigação que foi realizada, para desta forma, recopilar a informação necessária para este projeto.
- (b) **Aquisição e instalação de equipamentos:** corresponde ao preço das maquinarias de todo o processo de produção de *pellets* e briquetes, os quais se encontram especificados na Tabela 4.15, Tabela 4.17 e Tabela 4.19.

Outros componentes que podem ser necessários no processo são: um medidor de humidade da empresa “Schaller GmbH” da Áustria, modelo BL2, que pode medir a humidade de materiais como madeira, troncos partidos, serragem, feno e fardos de palha, incluindo um acessório para medir humidade da estilha e *pellets*, com um custo de 960 € [96] e uma motosserra, da empresa “Husqvarna” modelo 555, que permite um corte mínimo de tronco de 33 cm e máximo de 61 cm, com um preço de 808,65 €, o qual inclui o Imposto sobre o valor acrescentado (IVA), que pode ser adquirida na Ilha da Madeira [97].

Na Figura A2.1, são apresentados os equipamentos mencionados anteriormente:



1 Medidor de humidade; 2 Motosserra.

Figura A2.1. Representação física do medidor de humidade e motosserra [96; 97]

À parte destes valores, considera-se os que devem ser pagos pela montagem das maquinarias. Em algum dos casos, já vem incluído no preço total de toda a maquinaria, mas em outros, vem especificado como um valor que deverá ser pago à parte.

- (c) **Maquinaria para transporte, carga e descarga:** os componentes para transporte do material produzido, apresentam-se na Tabela A2.1.

Tabela A2.1. Custo dos componentes de transporte [98; 99]

Empresa	Equipamento	Modelo	Preço com IVA (€)
Scania Portugal S.A	Camião tipo cabina para transporte de <i>pellets</i> a granel com chassis incorporado	P 370 EURO 6 EGR+SCR DB6 / DB 6x2 Distribuição	157.807
Quadrante - Comércio de elevadores, Lda	Empilhador	Toyota <i>Stacker</i> SWE120	11.919,84
	Porta palete manual	Toyota LHM230	474,58

Na Figura A2.2, é apresentado cada componente detalhado na Tabela A.5.



1 Camião para transporte a granel; 2 Porta palete manual; 3 Empilhador.

Figura A2.2. Maquinaria para transporte, carga e descarga [98; 99]

(d) Construção civil: foi considerado o “*Decreto Regulamentar Regional n.º 1/2011/M*” que estabelece um preço por metro quadrado padrão para efeitos da indústria da construção civil de 696,25 €/m² [100]. Este valor inclui todos os gastos necessários de construção tais como: valor do edifício, construção fabris, preparação do terreno, escavação, gestão de resíduos de construção, tubagens, redes de infraestruturas, entre outros.

Para cada fluxo, foi selecionada uma área de implantação ou do processo (esta é a que se considera para cálculo do custo do edifício e construções fabris), assim como a área total do lote que é superior à anterior. Estas áreas são baseadas nas parcelas disponíveis por parte da Madeira Parques Empresariais (MPE), entidade responsável pela administração de todos os parques empresariais na Região Autónoma da Madeira. Estas são referidas na Tabela A2.2.

Tabela A2.2. Área da instalação com base no fluxo de produção [101]

Fluxo (kg/h)	Número de lote	Área de implantação (m ²)	Área total de lote (m ²) ^a
625	02	611	903
1.250	14	730	990
2.500	20 e 21	914	1.332

^a Só se considera para cálculo da renda do terreno, dentro dos custos anuais.

A área de implantação divide-se em aproximadamente 79,7% na área de produção, 17% no armazém, 3% na oficina e sala de controlo e cerca de 0,3% na área relativa ao sanitário.

Na planta do Parque Empresarial da Ribeira Brava, Figura A2.3, especifica-se os lotes selecionados (linhas a cores) e os espaços já ocupados (linhas em preto).



Amarelo: área para fluxo de 625 kg/h; Azul: área para fluxo de 1.250 kg/h; Cor de rosa: área para fluxo de 2.500 kg/h; Preto: áreas já ocupadas.

Figura A2.3. Planta do Parque Empresarial da Ribeira Brava [Adaptado de 101]

- (e) **Outros gastos não especificados:** foi estabelecido uma percentagem entre 0,5% até 1% no custo dos equipamentos do processo, incluindo os de transporte, isto para estabelecer um valor total aos componentes que faltam por considerar, como móveis, computadores, impressora, telefone, fax, lâmpadas, entre outros, que são equipamentos de oficina, assim como os componentes de segurança necessários para a proteção dos trabalhadores.

Na Tabela A2.3, apresenta-se a percentagem aplicada para cada fluxo de produção. Para isto, o custo deve ser semelhante para cada fluxo de produção por tratar-se de componentes que são iguais para os três fluxos.

Tabela A2.3. Custo de outros componentes não especificados

Fluxo (kg/h)	Percentagem estimada (%)	Custo (€)
625	1	11.239,50
1.250	0,76	11.296,26
2.500	0,49	11.424,60

(f) Patentes, alvarás e royalties: as patentes estão implícitas na compra dos equipamentos.

(g) Projetos, fiscalização e coordenação: é basicamente o preço total do projeto que inclui os planos de engenharia (processo e construção) que devem ser realizados por parte da empresa ou consultora. Será estimado uma percentagem nos preços dos componentes do processo e outra percentagem no custo da construção. Esta percentagem varia entre 3% e 10% dependendo do investimento, tendo como referência que para um projeto de 300.000 € considera-se uma percentagem de 4% (C. Silva, comunicação pessoal, novembro 30, 2013). As correlações estabelecidas, encontram-se detalhadas na Tabela A2.4.

Tabela A2.4. Percentagem estimada para custo do projeto

Preço dos componentes ou da construção (€)	Percentagem estimada para custo do projeto (%)
100.000	3
300.000	4
500.000	5
700.000	6
900.000	7
1.100.000	8
1.300.000	9
1.500.000	10

(h) Licenças, registos e taxas: com base na informação fornecida pela MPE (M. Gonçalves, comunicação pessoal, dezembro 6, 2013), o primeiro passo deve ser a obtenção do direito de superfície do lote no Parque Empresarial da Ribeira Brava. Posteriormente deve ser entregue uma comunicação prévia na Câmara Municipal da Ribeira Brava relativa à construção e por último é tratado o Licenciamento Industrial (exploração/atividade) na Direção Regional de Comércio, Indústria e Energia (DRCIE).

Para o licenciamento de construção foi considerado o “*Regulamento de taxas e outras receitas municipais de agosto 2013 da Câmara Municipal da Ribeira Brava*” [102] sendo selecionado, os dados apresentados na Tabela A2.5.

Tabela A2.5. Licenciamento de construção pela Câmara Municipal da Ribeira Brava [102]

Capítulo	Quadro ou Anexo	Ponto de cada quadro	Valor (€)
VIII - Urbanismo e edificação	III - Apresentação de comunicação prévia	c)	617,63
	II - Pedido de licença ou suas alterações	1 - letra c)	78,73
		1 - letra c) - ponto i. - letra e)	263,76
	IX - Obras de construção. Concessão de licença e admissão de comunicação prévia	1	118,54
		1.1	118,54
	ANEXO I Taxa devida pela emissão de alvará de licença ou admissão de comunicação prévia	Comércio, serviços, indústria e outros fins, por m ² de área bruta de construção (de 501 m ² a 1000 m ²)	12,34 ^a

^a Deve ser multiplicado pela área bruta correspondente em cada fluxo.

De acordo com a “*classificação dos estabelecimentos industriais*” [103], fornecida pela DRCIE para o licenciamento industrial, como a instalação não entra dentro de nenhuma das categorias, será estabelecida a tipologia 4 para o projeto (tipologia máxima em Portugal Continental). Como o licenciamento industrial de este tipo só pode ser tratado com a Câmara, são apresentados, na Tabela A2.6, as taxas que devem ser pagas para esse efeito.

Tabela A2.6. Licenciamento industrial pela Câmara Municipal da Ribeira Brava [102]

Capítulo	Quadro	Ponto a considerar	Valor (€)
VIII - Urbanismo e edificação	XVII – Licenciamento Industrial	1	177,48
		2	141,56
		3	194,08
		4	57,57

- (i) **Custo alfandegário, transporte e impostos:** com base na informação fornecida pela Alfândega do Funchal, não é cobrado nenhum imposto nem taxa pelo transporte da maquinaria desde Espanha até a Ilha da Madeira, por serem países da União Europeia pelo que só deve ser considerado o valor do transporte.

Para conhecer esse valor, foi contactado o Diretor da empresa “Despcarga”, Sr. Miguel Encarnação (M. Encarnação, comunicação pessoal, dezembro 10, 2013), que informou que o custo desde Espanha até o Funchal é de 162 €/m³ com uma relação peso volume de 1 m³ = 333 kg. Para isto, foi estipulado um valor em peso da maquinaria com base no DFP enviado pelas empresas Apisa e Vimar Systems, sendo o mesmo de 100 t (fluxo 625 kg/h), de 200 t (fluxo 1.250 kg/h) e de 400 t (fluxo 2.500 kg/h).

Quanto ao IVA, os representantes da empresa Apisa informaram que os preços são *EXWORKS* em operações com países estrangeiros fatura-se sem IVA, assim sendo entre os países da União Europeia, se o cliente final possuir número fiscal intracomunitário, não se fatura o IVA, portanto os preços da maquinaria adquirida em Espanha apresenta o valor final a pagar. Contudo, aos equipamentos adquiridos em Portugal, deve ser acrescentado o IVA, fator especificado pelas próprias empresas.

- (j) **Viagem, manutenção e alojamento dos técnicos:** foi realizada uma simulação de custo de viagem pela companhia aérea Tap Portugal (datas 01/02/2014 até 22/02/2014) [104], da hospedagem no Hotel Bravamar da Ribeira Brava (por ser este o mais perto do Parque Empresarial) [105] e estipulado um gasto diário por técnico e engenheiro de 20 €, considerando apenas almoço e jantar, pois o Hotel inclui o pequeno-almoço no preço da hospedagem.

Na Tabela A2.7 apresentam-se os dados de viagem, manutenção e alojamento.

Tabela A2.7. Dados de viagem, manutenção e alojamento [93; 94; 104; 105]

Empresa	Cidades	Trabalhadores por empresa	Dias totais de hospedagem ^a	Preço de viagem (€) ^b	Preço diário de quarto simples (€)
Apisa	Barcelona	4 (2 técnicos e 2 engenheiros)	21	218,63	27,49
Vimar Systems	Barcelona	1 (técnico)			
Total trabalhadores para montagem		5			

^a Considera-se 15 dias laborais para a montagem da maquinaria.

^b Preço ida e volta (Barcelona - Funchal - Barcelona).

Os custos de operação apresentam-se a seguir:

- (a) **Despesas com o pessoal, considerando as remunerações, impostos, encargos sociais e seguros de trabalho:** o salário mínimo dos trabalhadores na RAM é de 494,70 € [106]. Para tal, foi estipulado um número de trabalhadores e o respetivo salário com base no cargo que ocupa, apresentados na Tabela A2.8.

Tabela A2.8. Salário bruto estipulado por trabalhador (para os fluxos de 625 kg/h e 1.250 kg/h)

Cargo	Tempo de trabalho (h)	Salários mínimos a pagar (vezes)	Ordenado mensal estipulado bruto (€)
Gerente (venda e direção)	8	3	1.484,10
Controlador (automatização)	8	2,50	1.236,75
Operador de matéria-prima	8	2	989,40
Operador de produtos e armazém	8	2	989,40
Distribuidor de <i>pellets</i> ¹	8	1,50	742,05
Empregado de limpeza	4	0,75	371,03
Total			5.812,73

¹ Os dias que não seja realizado a distribuição a granel, o distribuidor vai operar no armazém.

Como se pode observar na Tabela A2.8, a fábrica é composta por um total de 6 trabalhadores para o fluxo de 625 kg/h e de 1.250 kg/h. No caso do fluxo de 2.500 kg/h, deve ser adicionado um operador de matéria-prima e um operador de produtos e armazém, devido à carga de produção ser superior, num total de 8 trabalhadores.

O gasto total para a empresa inclui o salário apresentado na Tabela A2.8 e adicionalmente, o 1,25% estimado de seguro de acidentes de trabalho (varia entre 1% e 3%) e 23,75% da segurança social, ambos com relação ao salário bruto.

- (b) Serviços de apoio necessários à operação:** para gastos de internet e telefone fixo, foi utilizado os dados do pacote Meo Fibra 100 apresentados na Tabela A2.9.

Tabela A2.9. Dados pacote Meo Fibra 100 (só telefone fixo e net) [107]

Serviço	Mês	Preço por mês (€)
Telefone e net	Primeiro (instalação + ativação + mensalidade com desconto)	125,99
	Segundo e terceiro	20,99
	A partir do quarto	40,99
Total anual (€)		536,88

Para estimar o gasto anual de água, foram utilizados os dados estabelecidos na “Resolução n° 268/2013 da Presidência do Governo Regional” [108] de acordo ao valor estipulado pela empresa fornecedora do serviço, que para o concelho de Ribeira Brava é a empresa Águas e Resíduos da Madeira (ARM). Para isto, será estabelecido um volume de 5 m³ de água mensal por trabalhador, sendo os dados a pagar identificados na Tabela A2.10.

Tabela A2.10. Valores a considerar para o serviço de água [108]

Fator a considerar	Escalão (m ³)	Preço (€)
Conservação e Manutenção da Rede de Água	-	5,18
Tarifa de fornecimento de água ¹	26 até 30	1,64
		1,64
	31 até 40	1,91
		1,91
Conservação e Manutenção do Serviço de Recolha	-	2,3
Serviço de Recolha de Águas Residuais ¹	26 até 50	0,08
Conservação e Manutenção do Serviço de Recolha	-	2,88
Serviço de Recolha de Resíduos ¹	26 até 50	0,08
Taxa extra (só para volume maior a 5 m ³ por trabalhador)	-	0,346

¹ Devem ser multiplicados pelo volume total gasto mensalmente que é aproximadamente 30 m³ para os fluxos de 625 kg/h e 1.250 kg/h e de 40 m³ para o fluxo de 2.500 kg/h.

Para ter uma estimativa do consumo de eletricidade, foi somada a potência dos equipamentos estimada em 29,52 kVA (fluxo 625 kg/h), de 40,28 kVA (fluxo 1.250 kg/h) e 74,30 kVA (fluxo 2.500 kg/h). Para determinar o possível gasto de eletricidade, foi utilizado a “Tarifa de venda a clientes finais na Região Autónoma da Madeira 2013”, fornecida pela Empresa de Electricidade da Madeira [109], fatores estes, que são apresentados na Tabela A2.11 e Tabela A2.12.

Tabela A2.11. Tarifas de venda em Baixa Tensão Normal (BTN) (>20,7 kVA) [109]

Fatores	Preços
Potência	(€/dia)
27,6	0,9523
34,5	1,1635
41,4	1,3748
Energia ativa	(€/kWh)
Horas de ponta	0,2964
Horas cheias	0,1418
Horas de vazio	0,0658

Tabela A2.12. Tarifas de venda em Baixa Tensão Especial (BTE) (>41,40 kVA) [109]

Fatores	Preços
Termo tarifário fixo	(€/dia)
	0,5741
Potência	(€/kW.dia)
Horas de ponta	0,6506
Contratada	0,0376
Energia ativa	(€/kWh)
Horas de ponta	0,1361
Horas cheias	0,1095
Horas vazio normal	0,0698
Horas super vazio	0,0651
Energia reativa	(€/kvarh)
Fornecida	0,0262
Recebida	0,0199

O veículo para transporte a granel utiliza como combustível gasóleo com depósito de 300 L. De acordo com dados reais, estima-se que uma viatura tipo 4x4, a gasóleo, que apresenta um depósito de 80 L percorre 500 km (J. Sousa, comunicação pessoal, dezembro 10, 2013), portanto, pode ser estimado uma gasto mensal de um depósito de 300 L para o fluxo de 625 kg/h, 2 depósitos mensais para 1.250 kg/h e três depósitos mensais para 2.500 kg/h. O valor do gasóleo é de aproximadamente 1,428 €/L (preço de dezembro de 2013) com base em *síte* de preços de combustível [110].

Deve salientar-se que foi estimado um custo extra de 10% no gasto total dos serviços, isto para colmatar outros possíveis gastos que possam ser necessários.

- (c) **Renda do terreno:** como o lote de terreno será cedido em regime de direito de superfície, os preços estipulados pela MPE como aluguer mensal do lote de terreno, apresentam-se na Tabela A2.13.

Tabela A2.13. Preços por metro quadrado para regime de direito de superfície [111]

Área de lote de terreno	Valor mensal por m² (€)
Superiores a 4.000 m ²	0,60
Compreendidas entre 2.000 m ² e 4.000 m ²	0,68
Inferiores a 2.000 m ²	0,75

Neste ponto deve considerar-se as áreas do lote de terreno que se indicam na Tabela A2.2, para determinar o valor a pagar mensalmente.

(d) Seguro da instalação: para fornecer um estimado do valor anual a pagar para assegurar uma empresa, foi realizado um contacto direto com o Gestor Nelson Novais Moreira da "Companhia de Seguros Tranquilidade" (N. Moreira, comunicação pessoal, dezembro 13, 2013), o qual estabeleceu que neste tipo de empresas, o seguro que deve ser abrangido é o "multirrisco estabelecimento".

De acordo a dados que dependem do tipo de setor empresarial, tem-se que o risco associado para uma indústria transformadora do tipo "fabricação de briquetes e aglomerados de hulha e lenhite" (tomado como referência) com código C1920300, apresenta uma taxa de 2,220% (percentagem de miles) para a cobertura de imóvel e recheio. Para a cobertura de roubo, a taxa é de 0,576% (percentagem de miles). De acordo a um cálculo realizado pelo Gestor, este informou-me que para um capital de inversão de 1.000.000 €, considerando as percentagens de cobertura e um recargo de 394 €, tem-se que o valor total a pagar anual é de 3.170 €. Este cálculo é detalhado na equação (A2.1).

$$\text{Seguro (€)} = \left(\frac{1.000.000 \text{ €} \cdot 2,220\%}{1000\%} \right) + \left(\frac{1.000.000 \text{ €} \cdot 0,576\%}{1000\%} \right) + 394 \text{ €} = 3.170 \text{ €} \quad (\text{A2.1})$$

Para os três fluxos estudados, vão a ser aplicados as mesmas coberturas e recargo, mudando só o capital de inversão, que considera custos de equipamentos, maquinarias para transporte e construção.

(e) Manutenção dos equipamentos e outros gastos: estipula-se um valor de manutenção da maquinaria entre 1% e 1,5% do valor total dos componentes [12] incluindo o transporte, sendo o valor estipulado de 1% uma vez que a instalação opera só 1 turno com 8 h diárias de produção, sendo este igual para os três fluxos. O custo da manutenção considera-se após o tempo de garantia especificamente, depois do ano um, já que a garantia dos equipamentos só é válida durante 12 meses.

Outros gastos são relativos a produtos de limpeza, material de oficina, materiais de escritório e materiais de higiene, os quais são fixos anualmente. Inclui-se também o material para embalagem, sendo estipulada uma percentagem de 1,8% (fluxo 625 kg/h), 2,2% (fluxo 1.250 kg/h) e 2,6% (fluxo 2.500 kg/h) do custo total dos componentes do processo incluindo os de transporte, já que é superior a quantidade de material a utilizar por maior fluxo de produção.

Nos custos de operação há que salientar que considerou-se uma percentagem de aumento anual em relação ao ano anterior de 1% para os serviços de apoio e de 0,5% nas despesas do pessoal, renda do terreno, no seguro da instalação e manutenção dos equipamentos.

Quanto às receitas, deve ser inicialmente estipulado uma quantidade de produção por apresentação. Para cada fluxo foi estabelecido que seriam produzidas no mesmo dia, as apresentações de 15 kg e os *big-bag* de *pellets*, noutro dia apenas os *pellets* a granel e noutro ainda os briquetes. A ordem de produção poderá ser alternada com base no maior ou menor esforço laboral, para assim equilibrar o trabalho realizado, principalmente no que concerne ao operador dos produtos.

Na Tabela A2.14, apresentam-se os dados mais relevantes de produção por apresentação.

Tabela A2.14. Dados de produção por apresentação

Fluxo (kg/h)	Caraterística	Pellets		Briquetes	
		Sacos (15 kg)	Big-bag (1.000 kg)	Granel	Caixas (20 kg)
625	Produção por turno (kg/dia)	2.000	3.000	5.000	5.000
	Sacos/caixas produzidos diariamente	133	3	-	250
	Dias mensais de produção ¹	5		6	11
1.250	Produção por turno (kg/dia)	3.000	7.000	10.000	10.000
	Sacos/caixas produzidos diariamente	200	7	-	500
	Dias mensais de produção ¹	6		5	11
2.500	Produção por turno (kg/dia)	3.000	17.000	20.000	20.000
	Sacos/caixas produzidos diariamente	200	17	-	1.000
	Dias mensais de produção ¹	7		4	11

¹ São 22 dias totais de produção mensal.

Para poder estabelecer um preço de venda de cada apresentação foram contactadas várias empresas que comercializam *pellets* e briquetes, assim como foram verificados os preços em vários sites na internet. Para considerar a melhor oferta, foi calculada a média entre esses valores. No caso da distribuição a granel, o preço já inclui o valor do transporte, pois existem empresas, que solicitam o pagamento do transporte à parte enquanto noutros casos o preço não inclui IVA.

Na Tabela A2.15, detalha-se o preço estabelecido por apresentação.

Tabela A2.15. Preços estipulados para vendas de *pellets* e briquetes

Produto	Apresentação	Preço (IVA incluído)	Preço de 1 kg (€)	Requerimentos para compra do produto
<i>Pellets</i>	Sacos (15 kg)	3,50 €/saco	0,233	Mínimo 10 sacos
	Big bag (1.000 kg)	200 €/t	0,200	Não apresenta
	Granel (≈13.200 kg)	200 €/t	0,200	Já inclui transporte
Briquetes	Caixas (20 kg)	4 €/caixa	0,200	Mínimo 10 caixas

A venda anual por apresentação e fluxo de produção é mostrado na Tabela A2.16.

Tabela A2.16. Venda por apresentação e fluxo de produção

Apresentação	Caraterística	Fluxo de produção (kg/h)		
		625	1.250	2.500
Sacos (15 kg)	Unidades vendidas anuais (sacos)	8.000	14.400	16.800
	Venda anual (€)	28.000	50.400	58.800
Big-bag (1.000 kg)	Unidades vendidas anuais (sacos)	180	504	1428
	Venda anual (€)	36.000	100.800	285.600
Granel (13.200 kg)	Toneladas vendidas anuais (t)	360	600	960
	Venda anual (€)	72.000	120.000	192.000
Caixas (20 kg)	Unidades vendidas anuais (caixas)	33.000	66.000	132.000
	Venda anual (€)	132.000	264.000	528.000
Venda total por fluxo de produção (€)		268.000	535.200	1.064.400

Com base no fluxo de entrada de matéria-prima estabelecido na Tabela 4.22, de acordo com as caraterísticas do secador, apresenta-se na Tabela A2.17, a quantidade de matéria-prima a utilizar por espécie e por fluxo de produção.

Tabela A2.17. Fluxo de matéria-prima por cada espécie

Fluxo de produção (kg/h)		625		1250		2500	
Espécie	Fração mássica (adim.)	Fluxo de entrada (kg/h)	Fluxo anual (kg/ano)	Fluxo de entrada (kg/h)	Fluxo anual (kg/ano)	Fluxo de entrada (kg/h)	Fluxo anual (kg/ano)
Pinheiro bravo	0,80	750,40	1.584.845	1.500	3.168.000	3.000	6.336.000
Criptoméria	0,05	46,90	99.053	93,75	198.000	187,50	396.000
Acácia	0,05	46,90	99.053	93,75	198.000	187,50	396.000
Eucalipto	0,05	46,90	99.053	93,75	198.000	187,50	396.000
Choupo	0,05	46,90	99.053	93,75	198.000	187,50	396.000
Total	1,00	938	1.981.056	1.875	3.960.000	3.750	7.920.000